Aulas 13 a 17

Introdução à ondulatória

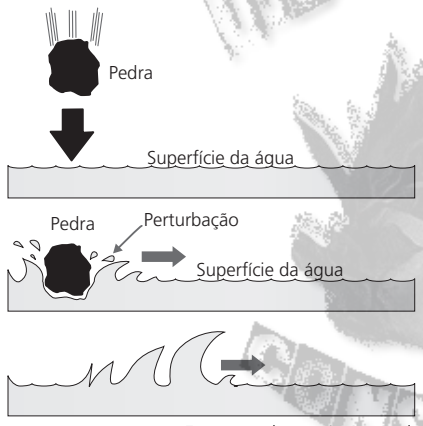
Provavelmente, se alguém perguntasse para você o que é uma onda, você saberia responder, não saberia?

Com certeza, a primeira imagem que viria à sua mente seria a de um surfista. Realmente, você está no caminho certo.

Segundo o dicionário *Aurélio* da Língua Portuguesa, uma das definições de onda é: "porção de água do mar, lago ou rio, que se eleva; vaga".

Mas, agora, vamos tentar elaborar um conceito físico para onda, uma vez que a onda do mar não é a única que existe!

Analise o caso... Imagine uma pedra caindo em uma piscina. O que se observa? No choque, a energia cinética da pedra é transmitida para a água, bem como parte da quantidade de movimento. Com isso, nota-se que a queda provoca uma **perturbação** na água, que se propaga pela superfície do líquido. Contudo, essa perturbação que se propaga é apenas energia e quantidade de movimento: a matéria não é "arrastada" com a onda!



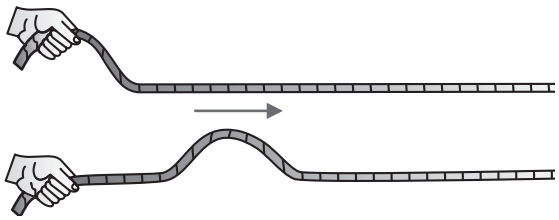
Essa perturbação é uma onda!

Podemos dizer que o movimento que vemos é análogo a uma ola. As pessoas apenas levantam os braços e depois os abaixam. Contudo, vemos "algo" dar uma volta no estádio que é uma ilusão de óptica devido a esses movimentos de sobe e desce.

Onda – transporte exclusivo de energia e quantidade de movimento

Vamos pensar em outros fenômenos que envolvem ondas.

Experimente... Amarre a extremidade de uma corda. Segurando a outra, faça um rápido movimento com a mão de cima para baixo.

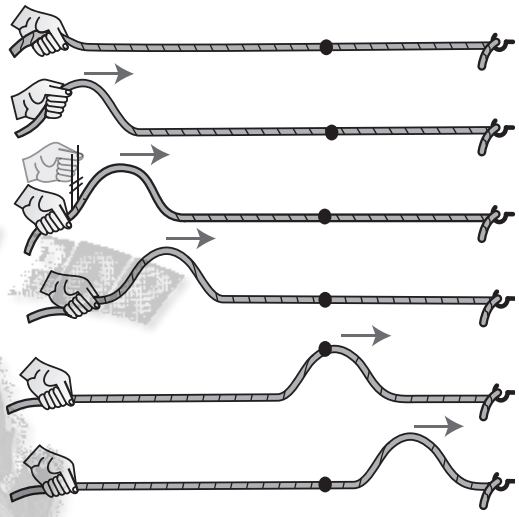


O movimento da sua mão (fonte) provoca uma perturbação, formando uma **onda** na corda, chamada de **pulso**.

A sua mão, ponto inicial onde se origina a perturbação, é denominada **fonte**.

Indo mais a fundo... Se você pintar um ponto na corda, será que ele é arrastado com a onda, ou apenas oscila indo de baixo para cima?

Claro que apenas se mexe de baixo para cima; se ele fosse se aproximando da outra extremidade seria muito estranho! Você também estaria sendo arrastado para lá.



Nesse sentido, onda não transporta matéria!

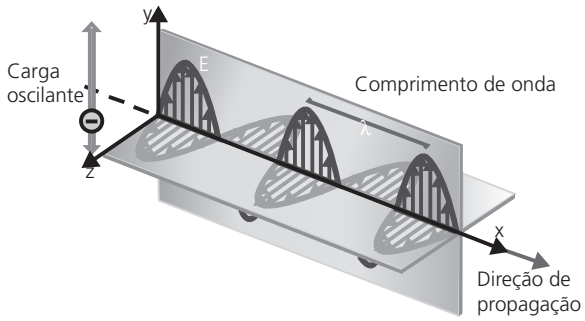
> **Onda** é uma perturbação energética (gerada por uma fonte) que se propaga em um determinado meio. Assim, a onda transporta energia e quantidade de movimento sem arrastar matéria.

Classificação quanto à natureza

Quando uma onda precisa de um meio material para se propagar, ela se chama **onda mecânica**. É o caso do som, das ondas em cordas e das ondas em líquidos.

Per Makitalo/123RF/Easypix

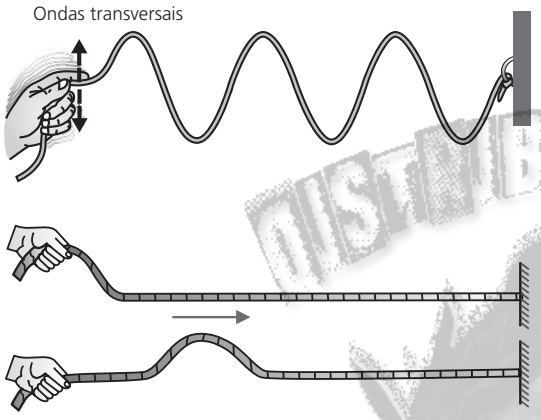
Já quando ela não precisa de um meio material, ou seja, propaga-se no vácuo, ela se chama **onda eletromagnética**. É o caso da luz, das ondas de rádio e das radiações térmicas que vêm do Sol. Para produzirmos uma onda eletromagnética, precisamos agitar uma carga elétrica. Fazendo isso, produzimos uma perturbação no campo elétrico gerado por essa carga. Por conta do movimento produzido nessa carga, também é gerada uma perturbação magnética.



Classificação quanto à direção da vibração

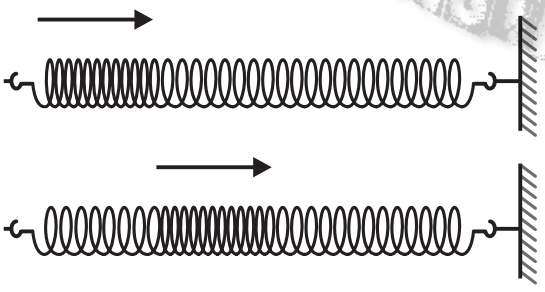
Ondas transversais

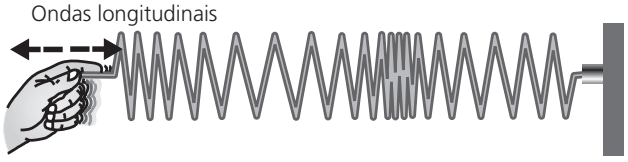
As ondas **transversais** apresentam oscilação perpendicular à direção de propagação da onda.

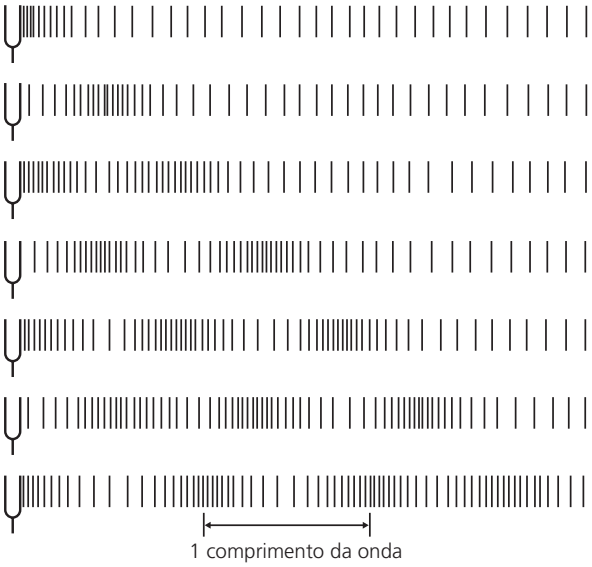


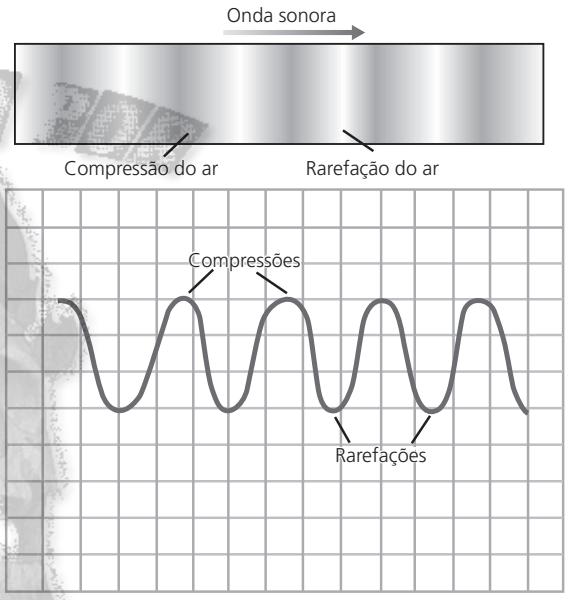
Ondas longitudinais

Nas ondas longitudinais, há um processo de compressão e rarefação: a vibração ocorre na mesma direção da propagação. É o caso das ondas sonoras.



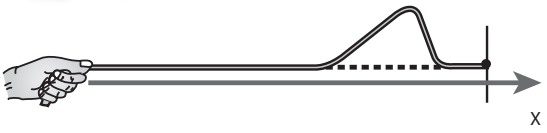




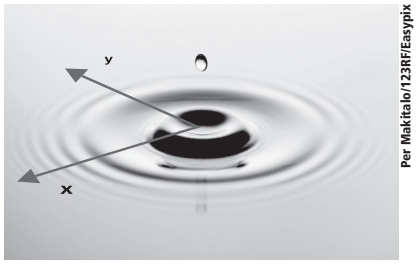


Formas de propagação

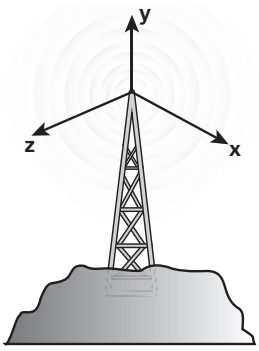
Quando as ondas se propagam **em apenas uma direção (x)**, dizemos que elas são **unidimensionais**.



Quando elas se propagam em superfícies em duas direções (**x** e **y**), chamamos de **bidimensionais**.



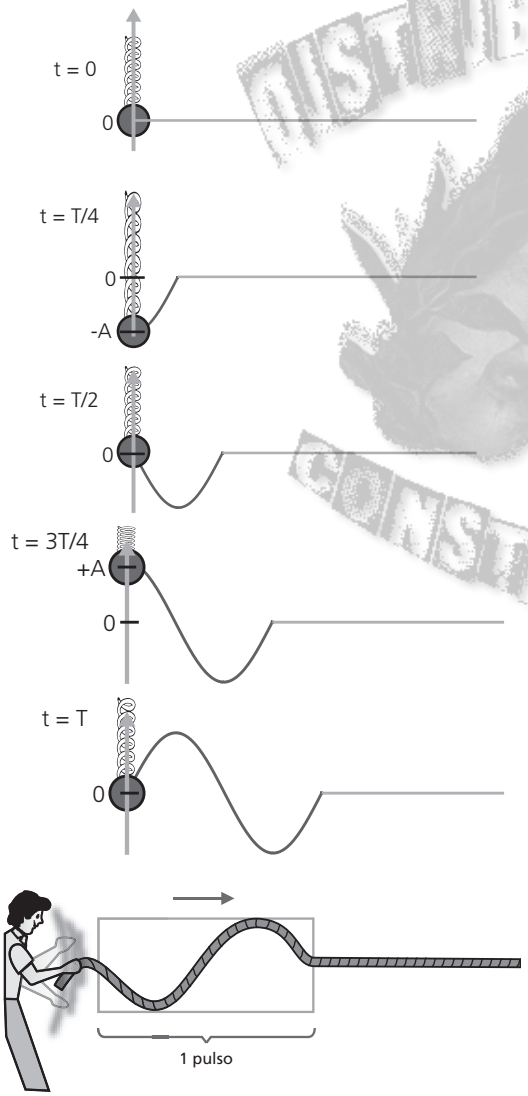
As ondas que se propagam no espaço, em todas as direções, (**x**, **y** e **z**) são **tridimensionais**.



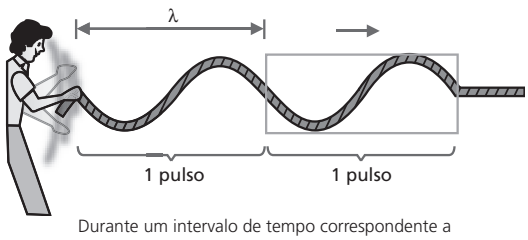
Onda periódica

No movimento ondulatório, podemos identificar cinco elementos principais: comprimento de onda λ, frequência **f**, período **T**, amplitude **A** e velocidade de propagação **v**.

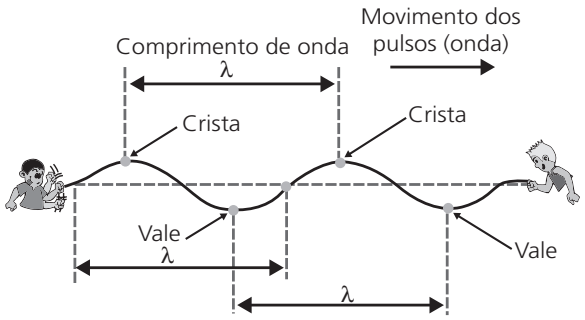
Observe, nas figuras a seguir, uma massa-mola (que vai ser a fonte da onda) vibrando e transferindo energia para uma corda, à qual está acoplada. À medida que a fonte vibra, a onda é formada na corda. Ao final de um período de oscilação da fonte (T), forma-se um comprimento de onda na corda λ.

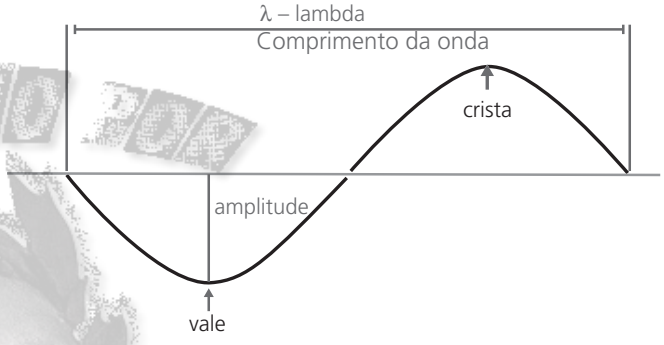


A fonte realizou 1 vibração completa.
O tempo gasto é o **período** (T) do fenômeno ondulatório.

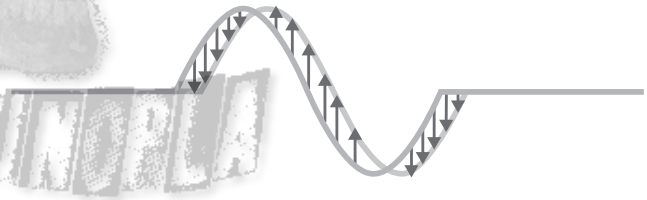


Durante um intervalo de tempo correspondente a
2 períodos (T), a fonte executa 2 vibrações completas (2 pulsos).

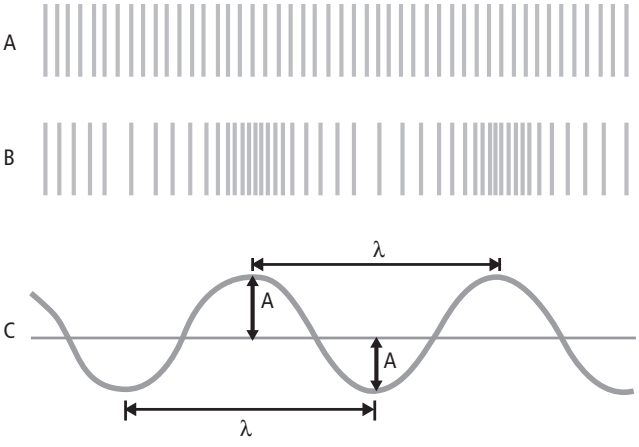




Mas não se esqueça, a onda, ao se deslocar para a direita, transporta apenas energia e quantidade de movimento. As partículas da corda apenas sobem e descem, movimentando-se na transversal (direção perpendicular ao movimento). Note isso na figura a seguir, na qual a onda se propaga para a direita e as partículas apenas oscilam na direção perpendicular, na onda transversal:



No caso de uma onda longitudinal, o comprimento de onda é obtido com a distância entre duas zonas de compressão ou entre duas zonas de rarefação consecutivas:



Em A, observamos as camadas de ar homogêneas. Em B, o mesmo ar sendo percorrido por pulsos sonoros. Em C, a representação de como a pressão do ar varia devido à presença da onda.

Estudo dos elementos da onda

Período (T)

Período é o intervalo de tempo para que a fonte gere uma onda, ou seja, corresponde ao **tempo** gasto para **executar uma vibração** (oscilação) completa.

Enquanto uma onda é gerada, a anterior vai sendo "empurrada" para frente, para que a nova também se propague.

Comprimento de onda (λ)

Comprimento de onda representa a distância percorrida pela onda durante um período de movimento da fonte, ou seja, durante o intervalo de tempo de uma oscilação da fonte. Visualmente, podemos dizer que é a distância entre dois vales consecutivos ou entre duas cristas consecutivas.

Frequência (f)

A frequência corresponde ao número de ondas que a fonte gera por unidade de tempo.

$$f = \frac{n_{ONDAS}}{\Delta t}$$

A unidade de frequência, no sistema internacional é o **hertz (Hz)**. 1Hz equivale a 1 oscilação por segundo:

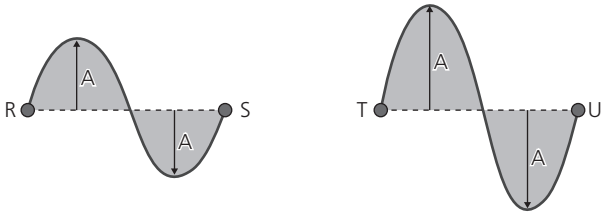
$$1Hz = \frac{1\ onda}{1\ segundo} = 1\ onda/segundo$$

Por exemplo, uma frequência de 20Hz corresponde a 20 ondas por segundo.

> Importante!
> A frequência da onda só depende da fonte emissora.

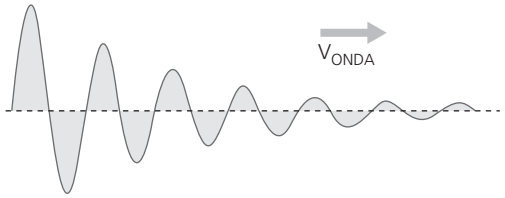
Amplitude (A)

A amplitude da onda está relacionada à quantidade de energia transportada por ela. Quanto maior amplitude da onda, maior a quantidade de energia. Assim, uma fonte mais potente (que transmite maior quantidade de energia por intervalo de tempo) produz ondas com maior amplitude.



Nessa figura, a onda à esquerda, por ter menor amplitude, transmite menor quantidade de energia que a onda à direita.

Em uma corda, à medida que a onda se desloca, parte da energia da onda pode ser absorvida, ou pela agitação das moléculas da corda (convertendo-se em energia térmica), ou pelo ar que a circunda. Assim, a amplitude da onda diminui gradativamente, conforme a figura a seguir:

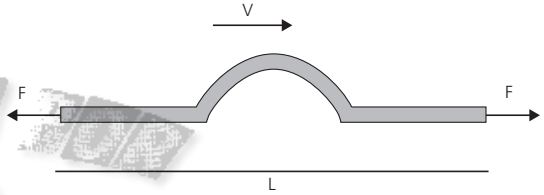


Velocidade (v)

A velocidade da onda depende das características do meio na qual ela se propaga. Para as ondas mecânicas, é possível encontrar expressões para calcular a velocidade de propagação em função de propriedades do meio.

Velocidade de pulsos transversais em cordas

É possível demonstrar que ondas transversais que se propagam em cordas tensas têm sua velocidade dependendo do valor da força com que a corda se encontra tracionada e da densidade linear dessa corda:



Densidade linear: $\delta = \frac{m}{L}$

Em função da densidade volumétrica (d): $\delta = d \cdot A$, onde A representa a área de secção transversal da corda.

Relação de Taylor: $v = \sqrt{\frac{F}{\delta}}$

Velocidade de ondas em superfícies de líquidos

Quando a profundidade do líquido é menor do que meio comprimento de onda, ou seja, para pequenas profundidades em relação ao comprimento de onda, a velocidade da onda é dada aproximadamente por: $v = \sqrt{gh}$

Onde **g** representa o valor da gravidade no local, e **h**, a profundidade do líquido.

Assim, nas regiões mais profundas, as ondas serão mais rápidas.

Velocidade do som

A velocidade do som não depende da frequência, sendo uma função exclusiva das propriedades do meio. Pode-se dizer que o som será mais rápido em meios mais rígidos (Cuidado! Não se está falando aqui em densidade, mas sim em rigidez). Dessa forma, quanto mais rígido o meio, ou seja, quanto mais difícil comprimi-lo, maior a velocidade do som.

Assim, verifica-se que:

$$V_{NOS\ GASES} < V_{NOS\ LÍQUIDOS} < V_{NOS\ SÓLIDOS}$$

Para se ter uma ideia, a velocidade do som no ar é cerca de 340 m/s, na água, cerca de 1450 m/s e em uma barra de ferro, 5100 m/s.

Nos gases, é possível demonstrar que o valor da velocidade do som depende apenas da atomicidade das moléculas (representada

aqui pelo expoente de Poison do gás γ), de sua massa molar (M) e da temperatura absoluta (T): $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

Portanto, o valor da velocidade do som nos gases não depende da densidade.

De acordo com essa expressão, quanto mais agitadas as partículas do gás, mais rapidamente o som nele irá se propagar.

Relações matemáticas entre os elementos da onda

Relação entre período e frequência

Quantas oscilações ocorrem no intervalo de tempo de um período? Uma! Por isso, vale a relação: $\boxed{f = \frac{1}{T}}$

Relação entre comprimento de onda, velocidade e frequência: a equação geral

Como a onda percorre um comprimento de onda λ, no intervalo de tempo de um período T, utilizando a equação do movimento uniforme, podemos escrever:

$d = v\,t$

$\lambda = v\,T$

Como a frequência é o inverso do período: $\lambda = \frac{v}{f}$

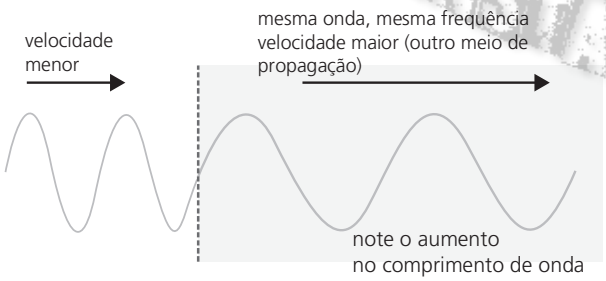
Assim, o comprimento de onda que é determinado por **v** e por **f**.

A velocidade de uma onda mecânica depende das propriedades do meio.

A frequência (e o período) depende apenas da fonte.

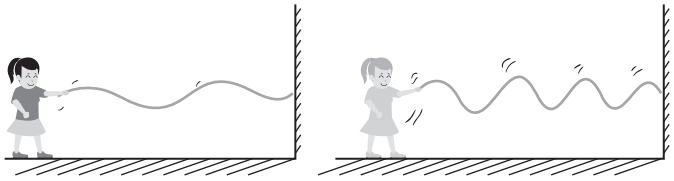
Logo, a expressão acima é capaz de fornecer o comprimento da onda em função da velocidade e da frequência.

À medida que a onda se propaga, a velocidade pode ser alterada quando ela mudar de meio, mas a frequência continua constante, uma vez que depende, exclusivamente, da fonte. Se **f** é constante, pela expressão, podemos concluir que um aumento na velocidade implicaria um aumento também no comprimento de onda.


velocidade menor
mesma onda, mesma frequência
velocidade maior (outro meio de propagação)
note o aumento no comprimento de onda

Caso a fonte altere sua frequência de vibração, em um determinado meio de propagação da onda, isso alteraria também o comprimento de onda.

Mas cuidado! Serão novas ondas, com nova frequência! Pela expressão matemática, uma onda gerada por uma fonte de maior frequência tem menor comprimento de onda.



Hewitt, *Física Conceitual.* Adaptado.

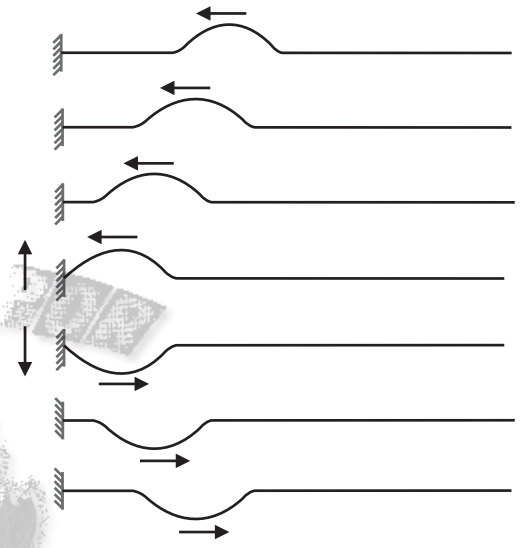
A mocinha à esquerda é uma fonte com pequena frequência, portanto, produz ondas na corda com grande comprimento de onda. A mocinha à direita vibra o braço com uma frequência maior, produzindo ondas de menor comprimento.

É possível também escrever a seguinte expressão: $\boxed{v = \lambda \cdot f}$

Reflexão de pulso

Quando um pulso atinge a extremidade de uma corda, ele retorna voltando para a fonte.

Extremidade fixa

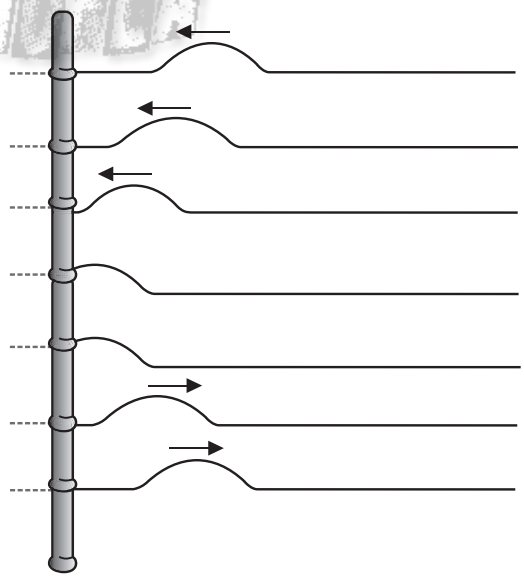


O pulso sofre inversão de fase. Podemos entender isso pensando que, nessa extremidade fixa, o pulso exerce uma força transversal para cima sobre o suporte, que reage e exerce uma força transversal para baixo, invertendo o pulso.

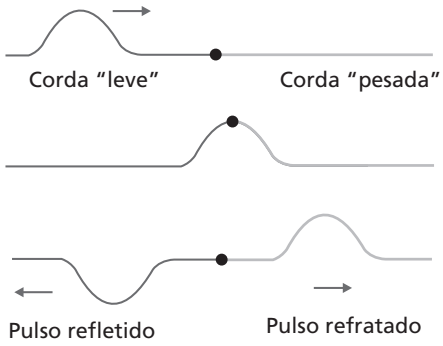
Em um extremo fixo, ocorre reflexão com inversão de fase.

Extremidade livre

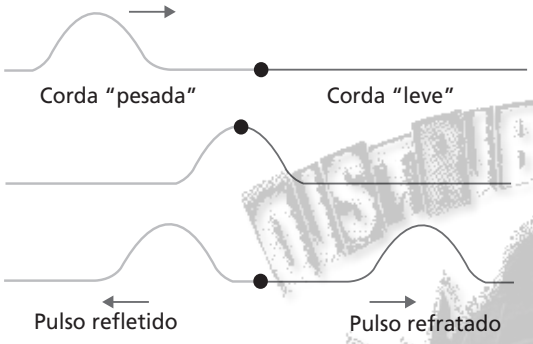
Quando a reflexão ocorre em um extremo livre, não há inversão de fase. O pulso não sofre inversão de fase.



Refração de pulso



Refração de um pulso passando de uma corda de menor densidade ("leve") para uma de maior densidade ("pesada").



Refração de um pulso passando de uma corda de maior densidade ("pesada") para uma corda de menor densidade ("leve").

Quando a próxima corda é mais densa, o pulso refletido inverte de fase, mas, quando é mais leve, o pulso reflete sem se inverter.

Contudo, o pulso transmitido (refratado) nunca sofre inversão!

Observação:

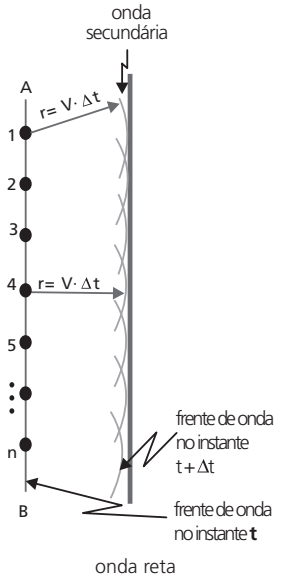
Quando um pulso sofre refração, mudam velocidade e comprimento de onda, mas a **frequência não muda**, pois ela só depende da fonte.

Princípio de Huygens

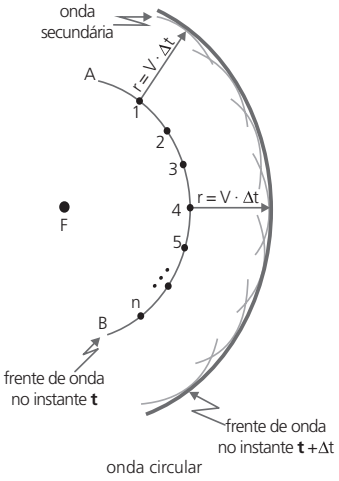
"Cada ponto de uma frente de onda pode ser considerado uma fonte de ondas secundárias, produzidas no sentido de propagação e com a mesma velocidade no meio. No instante posterior, a nova frente de onda é a superfície que tangencia essas ondas secundárias."

Cada ponto da frente de onda, ao oscilar, acaba perturbando todos os pontos adjacentes (uma vez que está interagindo com eles). Por isso, comporta-se como uma fonte puntiforme secundária.

A figura a seguir representa a posição de uma frente de onda AB no instante **t**. Após o intervalo de tempo Δt, cada onda secundária emitida pelos pontos 1, 2, 3, ..., **n** terá percorrido a distância $r = V \cdot \Delta t$. A frente de onda no instante $t + \Delta t$ é a superfície tangente a essas ondas secundárias.

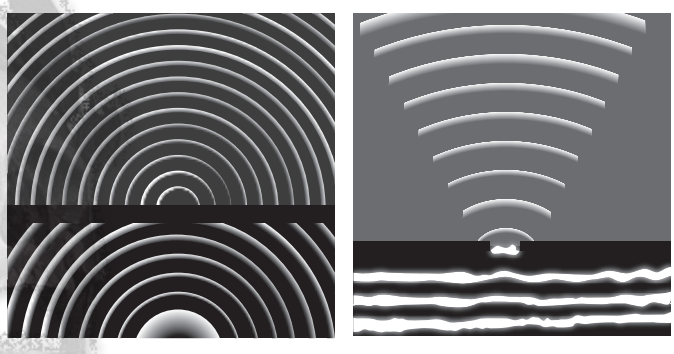


onda reta



onda circular

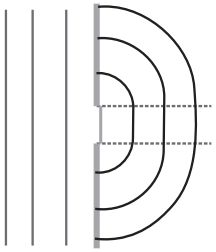
Para constatar esse princípio, podemos fazer a onda atravessar um pequeno orifício. Quando isso acontece, verificamos que os poucos pontos da frente de onda que vai passar pelo orifício acabam demonstrando o Princípio de Huygens com o comportamento de fontes puntiformes, conforme a figura abaixo.



As imagens mostram as ondas elementares de Huygens na superfície da água. Note que elas são circulares, independentemente das ondas originais serem ou não.

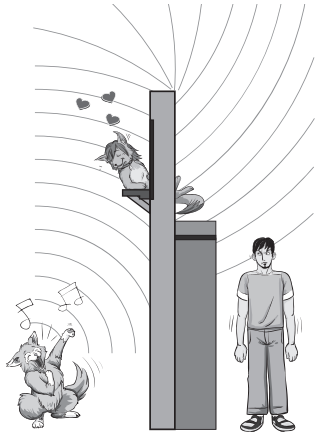
Difração

Representa o encurvamento dos raios de onda ao passar por um obstáculo, como consequência do Princípio de Huygens:



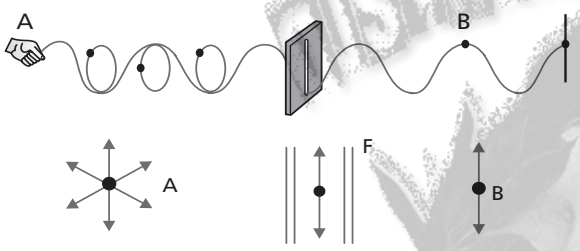
Para que o fenômeno da difração fique mais notável, é necessário que o diâmetro do orifício tenha a mesma ordem de grandeza do comprimento de onda.

A difração do som permite que uma pessoa possa ouvir outra que esteja atrás de um muro (o comprimento de onda do som é da ordem de alguns metros). Contudo, não é possível vê-la, porque a difração da luz é desprezível, uma vez que o comprimento de onda dela é da ordem de nanômetros.

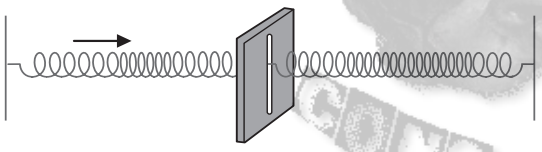


Polarização

A polarização de uma onda transversal ocorre quando ela é filtrada, deixando passar apenas as perturbações que ocorrem em uma única direção.



Polarização de uma onda numa corda.



As ondas longitudinais não se polarizam.

As ondas luminosas sofrem o fenômeno da polarização. Logo, são ondas transversais.

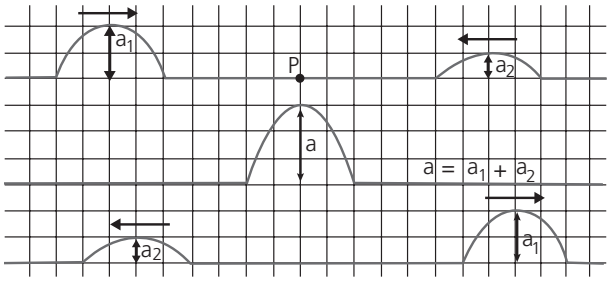
Introdução

A interferência é um fenômeno descrito pelo cientista inglês Thomas Young, sendo que esse fenômeno representa a superposição de duas ou mais ondas num mesmo ponto. Essa superposição pode ter um caráter de aniquilação quando as fases são opostas (interferência destrutiva) ou pode ter um caráter de reforço quando as fases combinam (interferência construtiva).

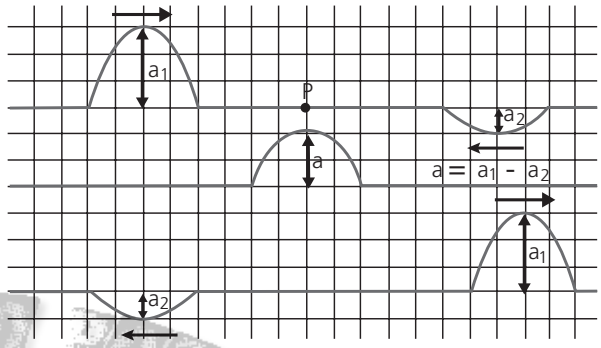
Considere dois pulsos deslocando-se em direções opostas numa corda. Caso esses dois pulsos se interceptem num determinado momento, pode ocorrer interferência construtiva ou destrutiva, de acordo com a forma inicial dos pulsos. Se os dois pulsos estão do mesmo lado da corda, ocorre interferência construtiva e as amplitudes dos pulsos serão somadas. Caso contrário, acontece, no momento do encontro, a interferência destrutiva e as amplitudes dos dois pulsos serão subtraídas (o cancelamento completo só existe se os pulsos forem idênticos).

Após o processo de interferência, os pulsos seguem como se nunca tivessem se encontrado.

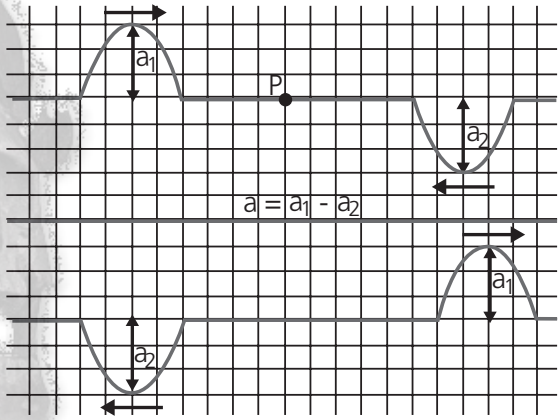
Superposição de pulsos



Pulsos em oposição de fase

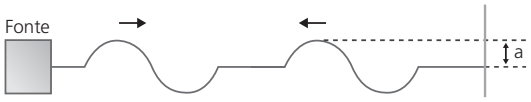


Quando os pulsos têm igual comprimento, igual amplitude e estão em oposição de fase

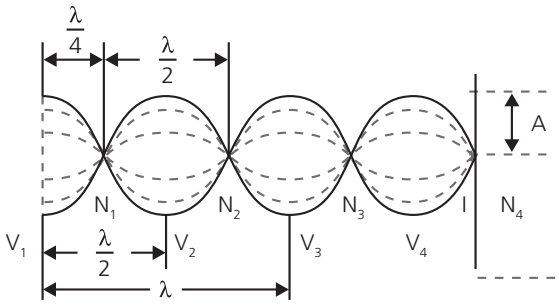


Ondas estacionárias em cordas

É a interferência de duas ondas iguais que percorrem o mesmo meio, na mesma direção e em sentidos opostos.



Com isso, acabam aparecendo perfis diferentes de vibração, formando "barriguinhas" de oscilação.



A = 2a

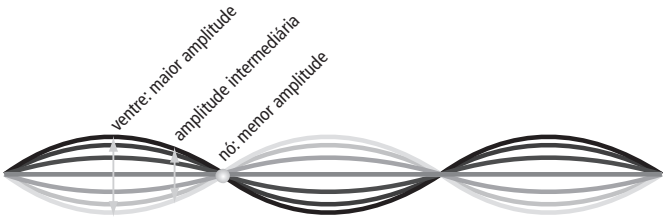
Fuso é o nome dado a cada uma dessas "barriguinhas" formadas na figura de interferência.

Cada fuso corresponde a $\frac{\lambda}{2}$.

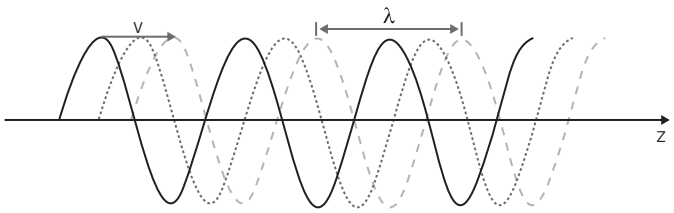
Note que a onda estacionária parece realmente estar "parada". Não percebemos deslocamentos de onda. Cada ponto da corda passa a vibrar com um determinado valor de amplitude.

Os pontos da corda que vibram com maior amplitude são chamados **ventres** de vibração ou **antinós**. Nesses pontos, está havendo interferência construtiva.

Os pontos da corda que vibram com menor amplitude (ou amplitude igual a zero) são chamados **nós** de vibração. Nesses pontos, está havendo interferência destrutiva.



Observe que percebemos o deslocamento de uma onda progressiva.



Ressonância

Há vários exemplos de objetos que vibram. Podemos citar um massa-mola, um pêndulo simples, uma corda de violão etc. Todos esses objetos vibram com frequências bem definidas, chamadas **modos de vibração**.

racorn/123RF/Easypix

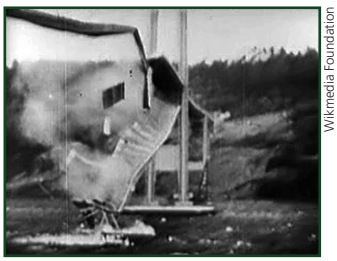
Uma rede é um bom exemplo de objeto que oscila. Quando você quer se balançar em uma rede, deve balançar suas pernas com uma determinada frequência. Se você chacoalhar as pernas de qualquer jeito, não vai conseguir aumentar a amplitude do seu balançar. Quando você consegue encontrar a frequência correta, a rede ganha amplitude. Nesse caso, dizemos que houve ressonância entre a vibração produzida pelas suas pernas e a oscilação da rede.

Qualquer fonte sonora produz no ar vibrações que estimulam oscilação nos corpos situados nas proximidades. Quando a frequência da fonte coincide com a frequência natural de oscilação do corpo, a amplitude de oscilação deste atinge valores elevados.

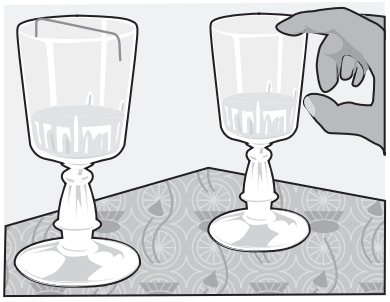
Um exemplo disso é quando uma taça de cristal é quebrada pelo som de um violino nas suas proximidades. No programa *Tudo é possível*, não conseguiram quebrá-la no grito. Para atingir o objetivo, não é apenas necessário um som muito intenso, mas também na frequência correta. No programa *Mith busters*, o cantor Vendera conseguiu quebrar a taça.

Todas as pontes vibram na direção transversal e são feitas para suportar essas vibrações. Contudo, os engenheiros que projetaram a ponte de Tacoma, nos EUA, não contaram com a vibração de torção. A frequência com que as rajadas de vento atingiam a ponte coincidiu com a frequência de torção da ponte, fazendo com que ela se torcesse com grande amplitude, devido à ressonância. Consequência disso foi a sua quebra.

Jet Lowe/Wikimedia Foundation


Wikmedia Foundation

ARAME DANÇANTE NA BORDA DE UMA TAÇA



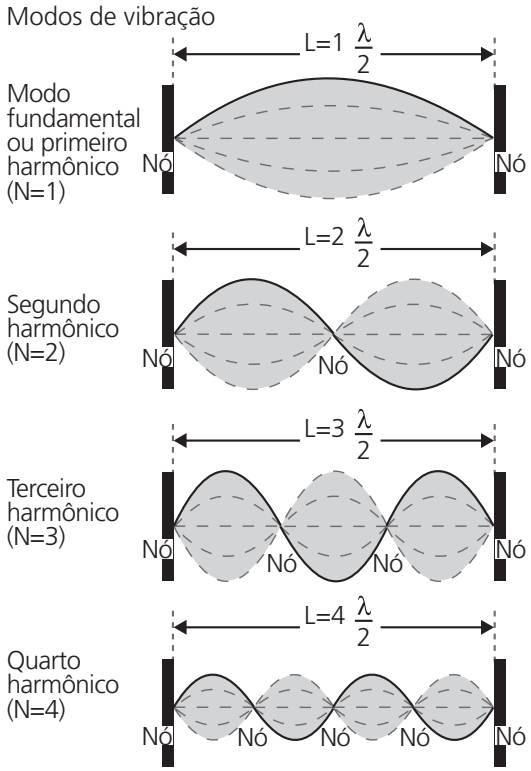
Ponha duas taças idênticascom um pouco de água perto uma da outra. Entorte um pedaço de arame e coloque-o sobre a borda de uma das taças. Umedeça a ponta de seu dedo e esfregue-o com suavidade pela borda da outra taça. Se tudo der certo, você ouvirá um som grave e melodioso enquanto o arame começa a vibrar em ressonância com o som que você gerou.

Essa experiência foi sugerida por John Jewett, Jr., na revista *The Physics Teacher*, Volume 31, de 1993.

Modos de vibração de uma corda com os extremos fixos

As cordas fixas têm mais de um modo de vibração. Quando estimulamos uma corda, perturbando-a em uma frequência capaz de produzir uma onda estacionária com nós nos extremos fixos, observamos que a vibração ganha amplitude, caracterizando o fenômeno da ressonância.

Para que se forme uma onda estacionária, portanto, algumas condições geométricas devem ser satisfeitas. Mostramos a seguir, quais os primeiros modos possíveis de vibração de uma corda nessas condições.



No primeiro harmônico:

$$\lambda = 2L \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2L}$$

No segundo harmônico:

$$\lambda = \frac{2L}{2} \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{\left(\frac{2L}{2}\right)} = 2 \cdot \frac{v}{2L}$$

No terceiro harmônico:

$$\lambda = \frac{2L}{3} \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{\left(\frac{2L}{3}\right)} = 3 \cdot \frac{v}{2L}$$

No quarto harmônico:

$$\lambda = \frac{2L}{4} \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{\left(\frac{2L}{4}\right)} = 4 \cdot \frac{v}{2L}$$

No n-ésimo harmônico:

$$\lambda = \frac{2L}{N} \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = N \cdot \frac{v}{2L}$$

O nome harmônico é utilizado sempre que temos frequências que são múltiplos inteiros de um valor mínimo. O valor mínimo recebe o nome de primeiro harmônico ou harmônico fundamental.

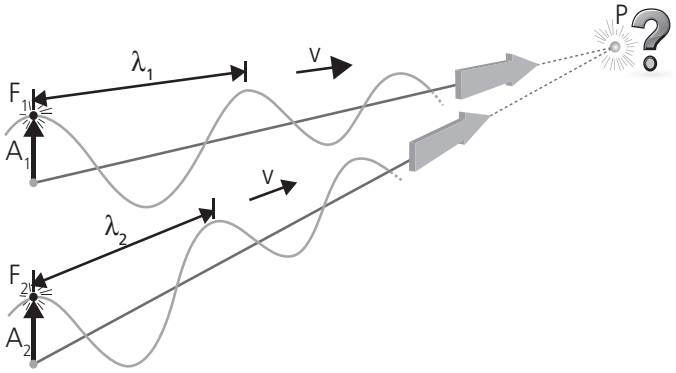
$$\boxed{f_1 = \frac{v}{2L}} \quad \boxed{f_N = N \cdot f_1}$$

$$\boxed{f_N = N \cdot \frac{v}{2L}}$$

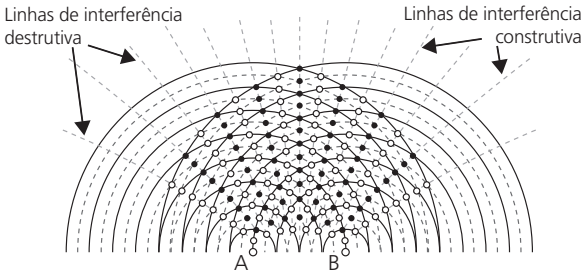
Interferência em ondas bi e tridimensionais

No caso de duas ondas se propagando em um meio bidimensional, como, por exemplo, na superfície da água, a interferência é analisada considerando-se também a superposição das duas ondas.

A figura a seguir representa duas fontes F_1 e F_2 oscilando verticalmente na superfície da água. Elas iniciam, no mesmo instante, os seus movimentos, com frequências e amplitudes iguais e em concordância de fase. São, portanto, denominadas fontes coerentes. É importante notar que duas fontes coerentes, vibrando em um mesmo meio, geram ondas iguais.



Duas fontes coerentes em um mesmo meio: $f = f_1 = f_2$; $A = A_1 = A_2$; $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2$.

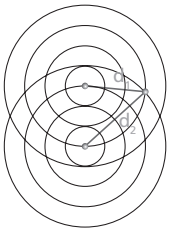


- **A** e **B** representam fontes puntiformes concordantes de ondas que se propagam em um mesmo meio. Quando há o cruzamento de dois vales ou de duas cristas, ocorre interferência construtiva. Por outro lado, quando se encontram um vale e uma crista, há interferência destrutiva.
- Nessa figura, os pontos cheios representam locais em que há interferência construtiva, enquanto os pontos abertos, interferência destrutiva. Unimos esses pontos por linhas verdes, as quais correspondem às linhas ventrais (de interferência construtiva) e às linhas nodais (de interferência destrutiva).

As linhas cheias representam cristas, as tracejadas, vales.

Assim, vemos que crista com crista ou vale com vale provoca interferência construtiva e crista com vale, destrutiva.

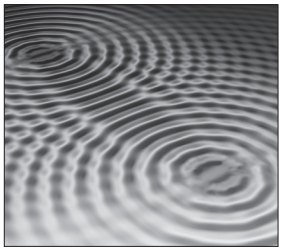
É possível fazer uma análise matemática da interferência entre as ondas bi e tridimensionais. Chamemos d_1 a distância de um ponto P à fonte F_1, e d_2, a distância desse mesmo ponto à fonte F_2.



Apliquemos a seguinte equação:

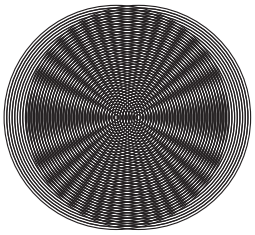
$$\boxed{|d_1 - d_2| = N \cdot \frac{\lambda}{2}}$$

- Caso as fontes estejam em concordância de fase:
  Se N for **par**, haverá, nesse ponto, interferência **construtiva – linha ventral, de máximo**.
  Se N for **ímpar**, haverá, nesse ponto, interferência **destrutiva – linha nodal, de mínimo**.
- Caso as fontes estejam em oposição de fase:
  Se **N** for **par**, haverá, nesse ponto, interferência **destrutiva**.
  Se **N** for **ímpar**, haverá, nesse ponto, interferência **construtiva**.


Sybille Yates/123RF/Easypix

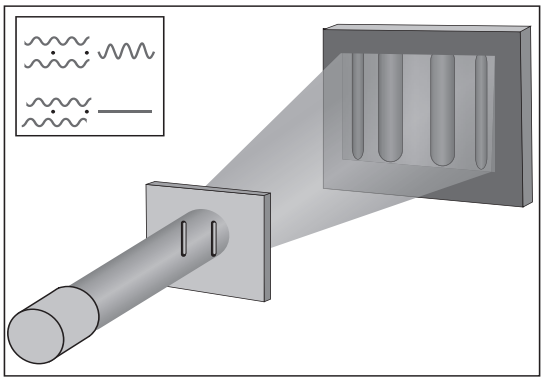
Interferência de ondas circulares.

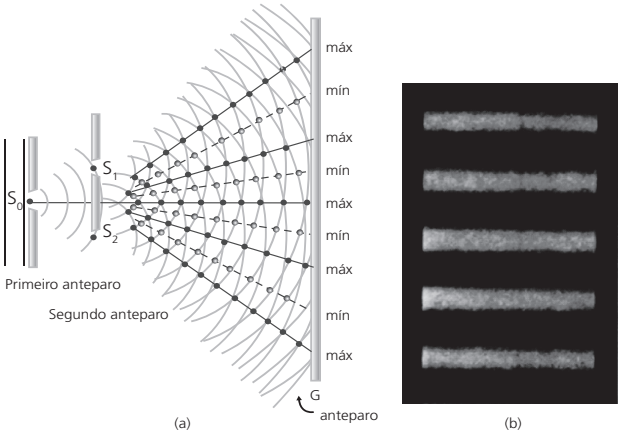
Se você se afastar um pouco do papel, verá, na figura a seguir, algumas franjas mais claras e outras mais escuras, de forma análoga ao fenômeno da interferência.

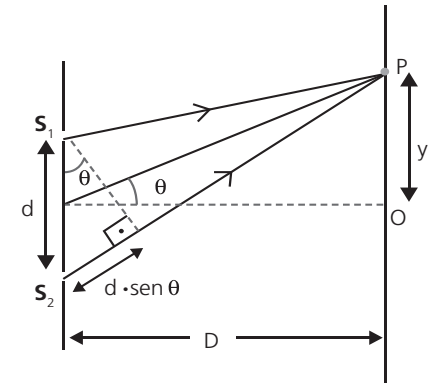


Experimento de Young

Young fez um experimento que demonstrou o caráter ondulatório da luz. Nesse experimento, fez um feixe de luz coerente atravessar um par de fendas (cujas espessuras são da ordem do comprimento de onda da luz), sofrendo difração. Após atravessar essas fendas, as ondas luminosas interferem, formando um padrão de interferência sobre o anteparo.







A diferença de percurso entre as ondas que atingem o ponto P é dada por d · sen θ. Assim, podemos escrever:

$$d \cdot \operatorname{sen}\theta = N \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Contudo, é possível aproximar sen θ ≅ tg θ = $\frac{y}{D}$.

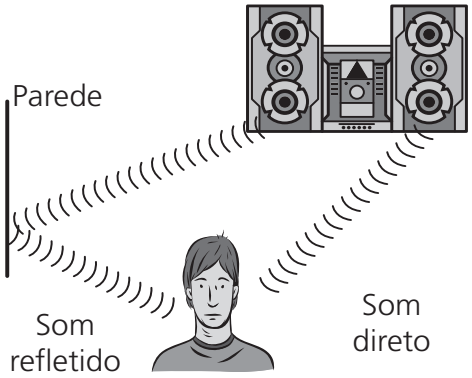
$$d \cdot \frac{y}{D} = N \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Se N for par, haverá, nesse ponto, interferência **construtiva – linha ventral**, **de máximo** – **franja clara**.

Se N for ímpar, haverá, nesse ponto, interferência **destrutiva – linha nodal**, **de mínimo** – **franja escura**.

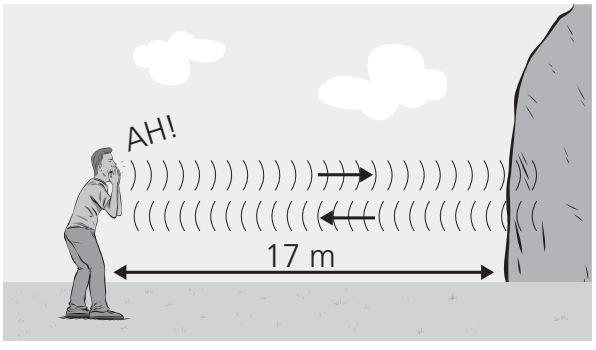
Fenômenos sonoros

Como toda onda, o som sofre reflexão.



Com isso, podemos ouvir o som de duas formas, direta (o som que vem do alto-falante) ou indiretamente (o som que "bate" na parede e atinge nossos ouvidos).

Quando o intervalo de tempo entre a chegada do som emitido diretamente e a chegada do som emitido indiretamente superar 0,1 segundo, ouvimos o **eco**.



Isso ocorre porque o ouvido humano só consegue distinguir dois sons que chegam a ele com um intervalo de tempo superior a 0,1 s.

Quando o intervalo de tempo entre a chegada dos dois sons for desprezível (quase simultâneo), ouvimos um **reforço** do som original.

Quando esse tempo for menor do que 0,1 s, mas não for desprezível, temos a sensação de que o som está se prolongando (como no interior de uma igreja) – isso é a **reverberação**.

Qualidades fisiológicas do som

Altura

É a qualidade que permite ao ouvido diferenciar sons **graves** de sons **agudos**. Essa qualidade é relativa à frequência do som.

Som grave → baixa frequência
Som agudo → alta frequência

Um homem, por exemplo, emite sons entre 100 Hz e 200 Hz, e a mulher, entre 200 Hz e 400 Hz. Por isso, a voz do homem é mais **grave** do que a da mulher ou, ainda, a voz da mulher é mais **aguda** que a do homem.

O ouvido humano só é capaz de ouvir sons entre 20 Hz e 20000 Hz.

Sons com frequência **abaixo de 20 Hz** são chamados de **infrassom**. Sons com frequência **acima de 20000 Hz** são chamados de **ultrassom**.

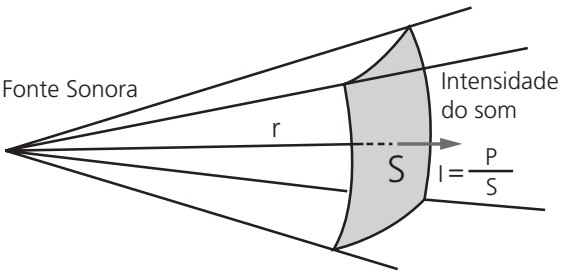
O ouvido humano distingue as notas musicais por meio da frequência.

Dó	Ré	Mi	Fá	Sol	Lá	Si	Dó
261 Hz							522 Hz
f							2f

Quando vamos de um DÓ ao próximo mais agudo, dizemos que estamos uma oitava acima. A frequência desse novo DÓ (mais agudo) tem o dobro do valor do primeiro.

Intensidade

É a qualidade do som que nos permite distinguir entre um som forte e um som fraco. É medida em W/m².

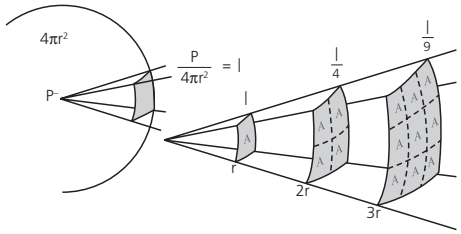


Em que P é o valor da potência sonora que atravessa a superfície e S é o valor da área dessa superfície perpendicular à propagação do som.

Se considerarmos uma fonte puntiforme e o som se propagando estratosfericamente, o valor da intensidade observada a uma distância **r** da fonte será:

$$I = \frac{P_{Fonte}}{S_{Esfera}} = \frac{P_{Fonte}}{4\pi r^2}$$

Assim, à medida que nos distanciamos da fonte sonora, percebemos um som cada vez mais fraco. Se dobrarmos nossa distância da fonte sonora, iremos perceber um som com um quarto da intensidade.



A intensidade está ligada à amplitude do som. Sons mais intensos têm maior amplitude. Perceba que, ao aumentar o "volume" do som em seu equipamento, os alto-falantes passam a oscilar com maior amplitude.

A menor intensidade que o ouvido humano é capaz de distinguir é 10^{-12} W/m². A intensidade que já começa a provocar dor é 1 W/m². Contudo, para não haver danos ao ouvido, a máxima intensidade a que devemos ficar expostos por longos intervalos de tempo é de 10^{-4} W/m².

Devido à imensa variação desses valores (o que fica explícito na utilização de potências de 10 para descrevê-los), passou-se a utilizar uma escala logarítmica desses valores: o nível de intensidade, medido em decibels, definido como:

$$N = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right),$$

em que I_0 é a menor intensidade audível para o ouvido humano: 10^{-12} W/m².

É possível reescrever essa definição da seguinte forma:

$$\frac{I}{I_0} = 10^{\frac{N}{10}}$$

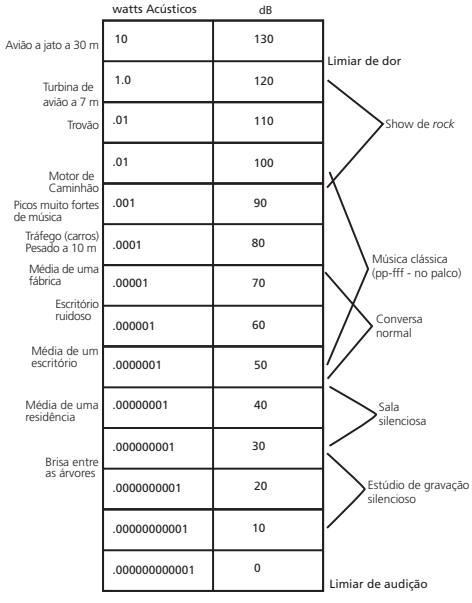
Ou ainda:

$$I = 10^{\frac{N}{10}} I_0$$

A unidade utilizada nessa medida é o decibel (dB).

O plural de decibel, de acordo com o Sistema Internacional de unidade, é decibels (e não decibéis, como se usa coloquialmente).

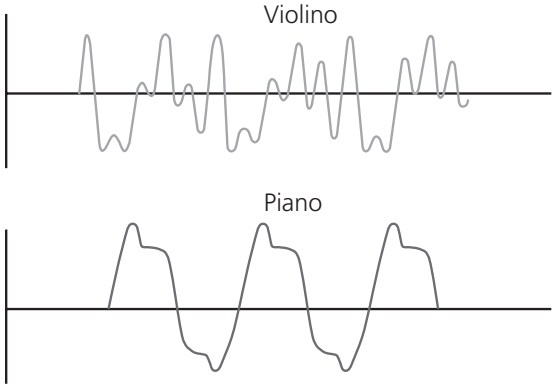
Exemplos de níveis:



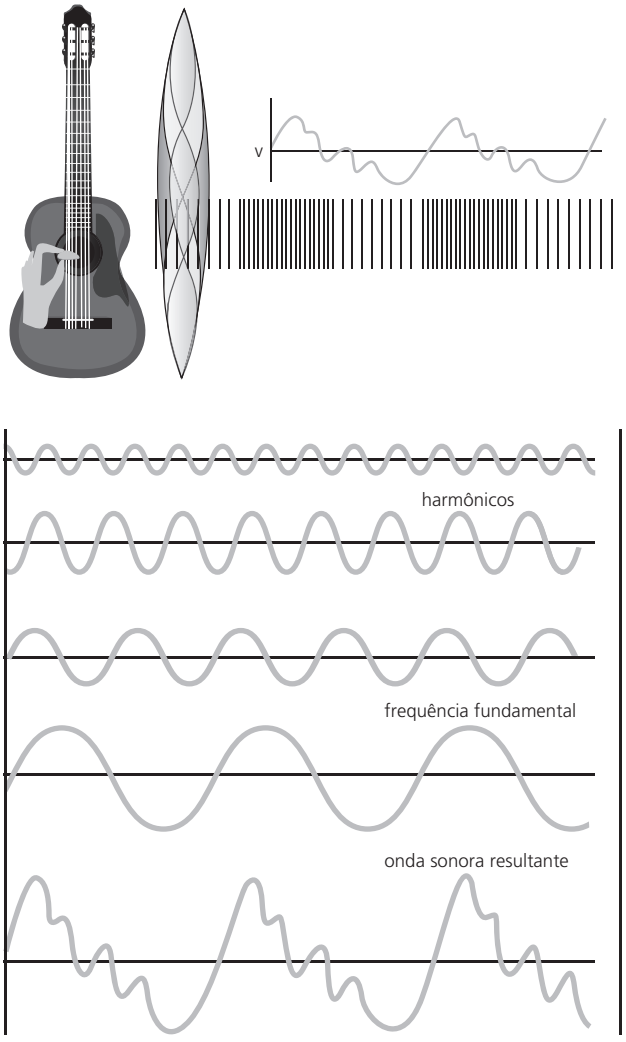
Timbre

Mesmo que dois sons tenham a mesma altura e a mesma intensidade, ainda podem ser distinguidos pelo **timbre**.

O timbre está ligado à forma da onda, que resulta da superposição de frequências múltiplas de um valor fundamental: os harmônicos. É o timbre que diferencia o som dos diversos instrumentos.



Quando tocamos a corda de um instrumento, essa corda vibra não apenas no primeiro harmônico, mas em vários outros (geralmente com menor intensidade) simultaneamente. Assim, passa para o ar um som que é a superposição desses diversos harmônicos, dando origem a uma vibração composta.



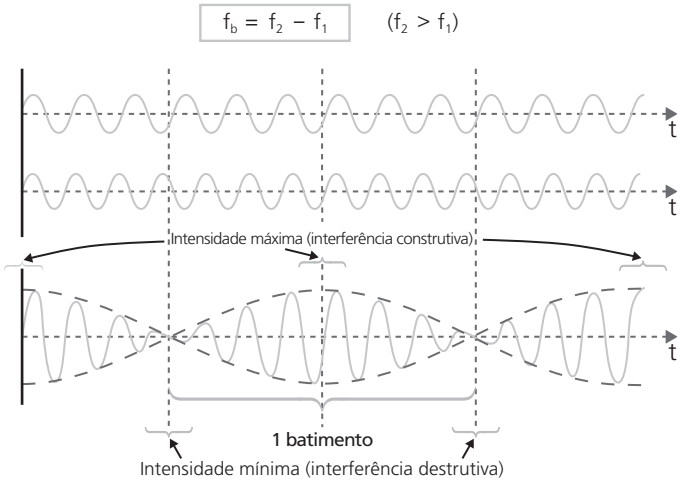
➢ Quando uma corda vibra, diferentes ondas se somam (I a IV), gerando a onda resultante (V) que produz o timbre característico do instrumento.

Cada instrumento vibra com uma superposição de harmônicos diferente. Assim, o timbre pode identificar o instrumento que originou o som.

Chamamos um som de **puro** quando ele é originado por um único harmônico. É o caso do som emitido por um diapasão.

Batimento

É o fenômeno que ocorre quando duas ondas de frequências ligeiramente diferentes interferem.



Assim, quando duas fontes sonoras emitem sons cujas frequências são ligeiramente diferentes, nós ouvimos a onda resultante da superposição dessas duas. Conforme vemos no gráfico anterior, a onda resultante terá amplitude variável. Lembrando que a amplitude é interpretada pelo ouvido humano como intensidade, o som resultante terá intensidade variável. Chamamos de um batimento essa variação da intensidade da onda. Quando percebemos uma repetição dessa variação da intensidade, dizemos que ouvimos um batimento.

A onda resultante dessa interferência tem frequência dada por:

$$f_{RES} = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

(Corresponde à frequência da nota musical)

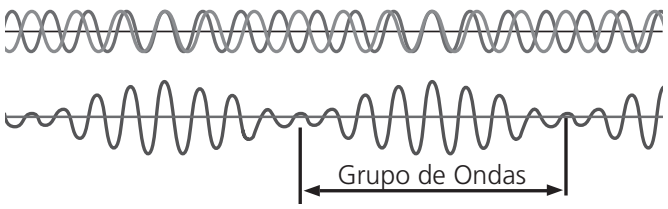
Ou seja, a frequência resultante é a média aritmética das frequências dos sons originais. Assim, a nota musical que ouvimos tem uma frequência cujo valor está entre $\mathbf{f_1}$ e $\mathbf{f_2}$.

Contudo, a frequência com que a intensidade dessa nota musical varia é conhecida como frequência de batimento e é dada por:

$$f_{BAT} = |f_1 - f_2|$$

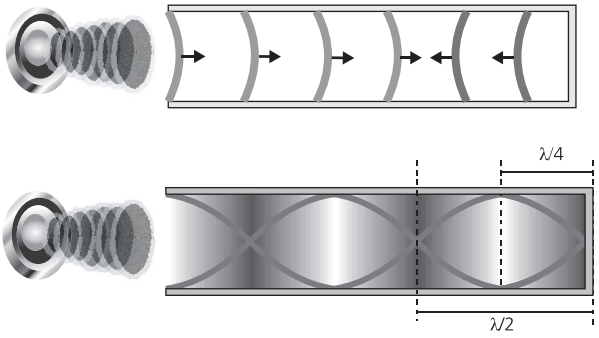
(Corresponde à frequência com que a intensidade do som varia)

Note, observando a figura, que em um batimento há várias ondas. Assim, a frequência do batimento é bem menor do que a frequência dessas duas ondas (bem como da onda resultante).



Ondas estacionárias em tubos sonoros

É possível estabelecer ondas sonoras estacionárias no interior de tubos (cujos diâmetros devem ser bem menores do que o comprimento), produzindo uma vibração nas proximidades do extremo aberto desse tubo. A onda que adentra o tubo é refletida em sua outra extremidade, havendo interferência entre a onda incidente e a onda refletida. Forma-se, portanto, a onda estacionária.



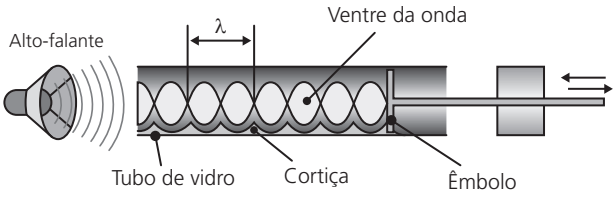
Quando a onda reflete na extremidade fechada de um tubo, inverte a fase e interfere destrutivamente com a onda incidente naquele ponto. Assim, nesse extremo, forma-se um nó de deslocamento da camada de ar. Outra forma de compreender isso é verificar que a camada de ar não tem liberdade para oscilar na extremidade em que o tubo está fechado.

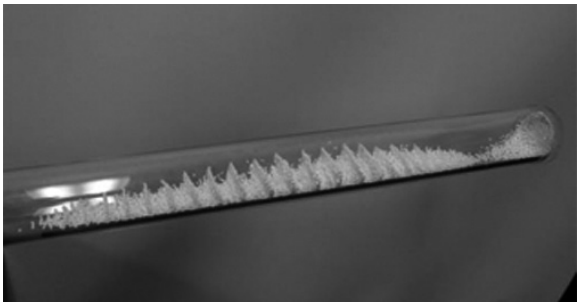
Extremidade fechada: Nó.

Quando a onda reflete na extremidade aberta, não sofre inversão, havendo, assim, interferência construtiva com a onda incidente. Nesse caso, no extremo livre do tubo, haverá interferência construtiva, o que constitui um ventre de deslocamento das moléculas do meio.

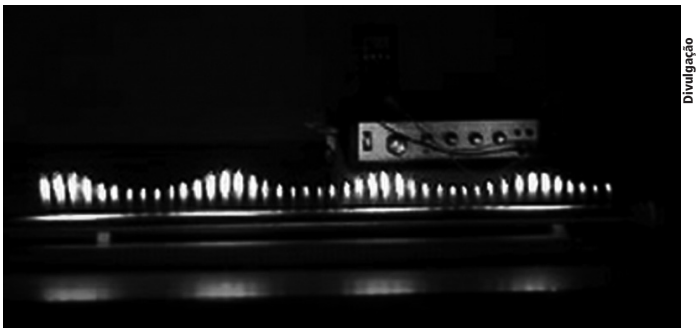
Extremidade aberta: Ventre.

Para visualizar esse fenômeno, podemos fazer uso do experimento de Kundt, que teve a ideia de jogar pó de cortiça dentro do ar do tubo, a fim de tornar visível a vibração da coluna de ar. Nesse experimento, vemos que o pó se acumula em montículos nas regiões em que se forma um nó de vibração:



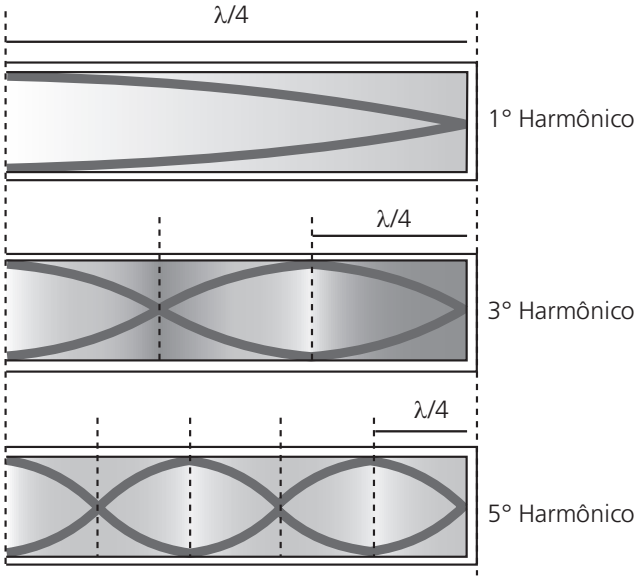

Divulgação

Rouben fez um experimento semelhante, mas provocando combustão em um gás que circula no tubo. O efeito fica muito bonito:


Divulgação

Quando o tubo é fechado em uma das extremidades, nós o chamamos de tubo fechado. Para que se estabeleça ressonância com onda estacionária nesse tubo, conforme explicado anteriormente, é necessário que se posicione um ventre de deslocamento na extremidade aberta e um nó na fechada.

Para satisfazer essas condições, são possíveis os modos de vibração a seguir:



- No primeiro modo de vibração (1° harmônico):

$$\frac{\lambda}{4} = L \rightarrow \lambda = 4L$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{4L}$$

- No segundo modo de vibração (3° harmônico):

$$3\frac{\lambda}{4} = L \rightarrow \lambda = \frac{4L}{3}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = 3\frac{v}{4L}$$

- No terceiro modo de vibração (5° harmônico):

$$5\frac{\lambda}{4} = L \rightarrow \lambda = \frac{4L}{5}$$

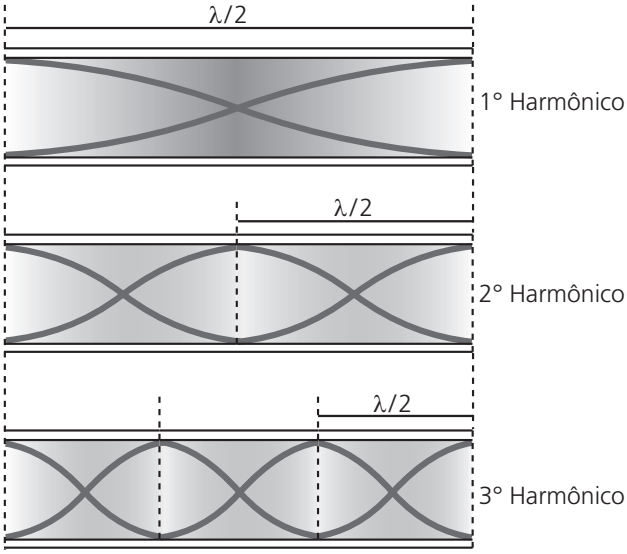
$$f = \frac{v}{\lambda} = 5\frac{v}{4L}$$

Observando os resultados, verificamos que o tubo fechado possui apenas os múltiplos ímpares da frequência fundamental de vibração:

$$f_1 = \frac{v}{4L} \qquad f_i = i \cdot f_1$$

Tubos sonoros abertos

Quando ambas as extremidades estão abertas, podemos observar todos os múltiplos inteiros do harmônico fundamental.



- No primeiro modo de vibração (1° harmônico):

$$\frac{\lambda}{2} = L \rightarrow \lambda = 2L$$
$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2L}$$

- No segundo modo de vibração (2° harmônico):

$$2\frac{\lambda}{2} = L \rightarrow \lambda = \frac{2L}{2}$$
$$f = \frac{v}{\lambda} = 2\frac{v}{2L}$$

- No terceiro modo de vibração (3° harmônico):

$$3\frac{\lambda}{2} = L \rightarrow \lambda = \frac{2L}{3}$$
$$f = \frac{v}{\lambda} = 3\frac{v}{2L}$$

Observando os resultados, verificamos que o tubo aberto possui todos os múltiplos da frequência fundamental de vibração:

$$f_1 = \frac{v}{2L} \qquad f_n = n \cdot f_1$$

Em que n = 1, 2, 3, 4, 5...

Da mesma forma, quando produzimos uma perturbação na boca do tubo, entram em ressonância as vibrações que coincidem com esses modos de vibração. Contudo, percebemos a frequência do primeiro harmônico como a nota musical e os demais harmônicos como componentes do timbre dessa nota musical.

Observe que, ao assoprar um tubo aberto, ouvimos um som fundamental de frequência **f**, ao fechar esse mesmo tubo, ouviremos um som fundamental de frequência f/2, ou seja, ouvimos um som mais grave.

$$f_{1(fechado)} = \frac{f_{1(aberto)}}{2}$$

Efeito Doppler

Efeito Doppler é a alteração da frequência percebida pelo observador em virtude do movimento relativo de aproximação ou de afastamento entre a fonte e o observador. Esse fenômeno é bem percebido quando se assiste a uma corrida de Fórmula 1, à medida que o carro passa pelo observador, ouve-se, na aproximação, um som mais agudo (maior frequência) que o originalmente emitido pelo motor e, no afastamento, um som mais grave (menor frequência).

Aproximação: som aparentemente mais alto (agudo).
Afastamento: som aparentemente mais baixo (grave).

Podemos compreender o porquê dessas observações, analisando como se configuram as frentes de onda emitidas pela fonte quando em repouso e quando em movimento:

Figura 1: Fonte em repouso

Pelo que podemos observar, quando a fonte se encontra em repouso, as frentes de onda ficam igualmente espaçadas em todas as direções.

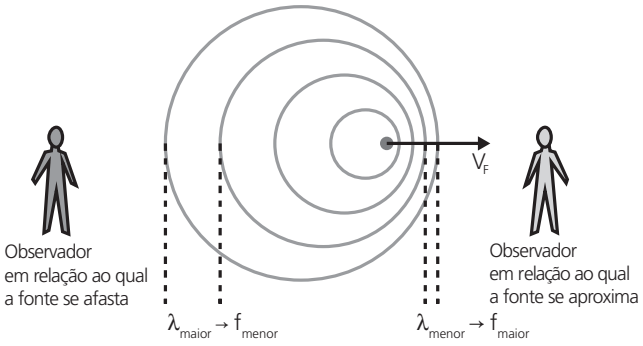

V_F
Observador em relação ao qual a fonte se afasta
Observador em relação ao qual a fonte se aproxima
$\lambda_{maior} \rightarrow f_{menor}$
$\lambda_{menor} \rightarrow f_{maior}$

Figura 2: Fonte em rmovimento

Contudo, quando a fonte se movimenta, as frentes de onda encontram-se mais próximas para o observador em relação ao qual a fonte se aproxima, implicando um comprimento de onda menor. Conforme estudamos anteriormente, uma onda sonora com menor comprimento de onda possui uma maior frequência.

Já para o observador em relação ao qual a fonte se afasta, as frentes de onda estão mais afastadas, implicando um comprimento de onda maior e, consequentemente, menor frequência.

O movimento do observador também pode influenciar o fenômeno. Caso o observador se desloque aproximando-se da fonte, haverá também um acréscimo na frequência observada. Ao se afastar, um decréscimo.

Para obter o valor numérico da frequência observada, pode-se demonstrar a seguinte relação matemática:

$$\frac{f_0}{v_{som} \pm v_0} = \frac{f_F}{v_{som} \pm v_F}$$

Nessa expressão:

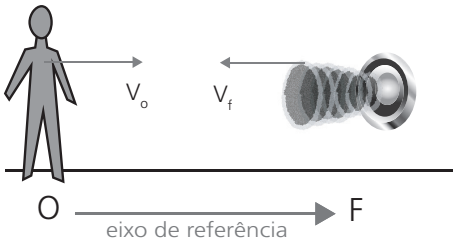
- f_0 representa a frequência do som percebido pelo observador;
- f_F representa a frequência do som emitido pela fonte;
- v_{som} representa a velocidade do som;
- v_0 representa a velocidade do observador em relação ao meio de propagação do som;
- v_F representa a velocidade da fonte em relação ao meio de propagação do som.

Os sinais indicados deverão obedecer à seguinte convenção:

- A favor do eixo de referência: +
- Contra o eixo de referência: –

Agora o mais importante: o eixo de referência deve sempre ser orientado do observador O para a fonte F.

A fim de exemplificar, observe o caso a seguir:



No caso acima, a expressão que relaciona as frequências será:

$$\frac{f_0}{v_{som}+v_0}=\frac{f_F}{v_{som}-v_f}$$

Exercícios de Fixação

01. (Efomm) Uma corda ideal está atada a um diapasão que vibra com frequência f_1 e presa a um corpo de massa m = 2,5 kg, conforme a figura 1. A onda estacionária que se forma possui 6 ventres que formam 3,0 m de comprimento.

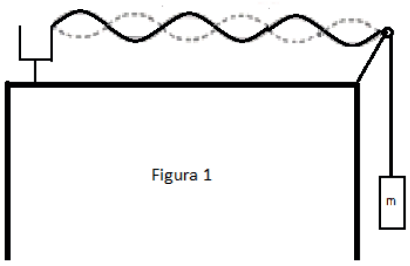


Figura 1

Um diapasão de frequência f_2 é posto a vibrar na borda de um tubo com água, conforme a figura 2

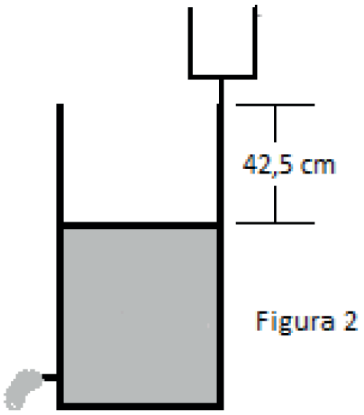


Figura 2

O nível da água vai diminuindo e, na altura de 42,5 cm, ocorre o primeiro aumento da intensidade sonora. Desprezando os atritos e considerando a roldana ideal, a razão entre as frequências f_2 e f_1 é de aproximadamente:

Dado: densidade linear da corda = 250 g/m.

A) 2,0
B) 4,0
C) 20,0
D) 40,0
E) 60,0

02. (Efomm) Um diapasão com frequência natural de 400 Hz é percutido na proximidade da borda de uma proveta graduada, perfeitamente cilíndrica, inicialmente cheia de água, mas que está sendo vagarosamente esvaziada por meio de uma pequena torneira na sua parte inferior. Observa-se que o volume do som do diapasão torna-se mais alto pela primeira vez quando a coluna de ar formada acima d'água atinge uma certa altura h. O valor de h, em centímetros, vale

Dado: velocidade do som no ar v_{Som} = 320 m/s

A) 45
B) 36
C) 28
D) 20
E) 18

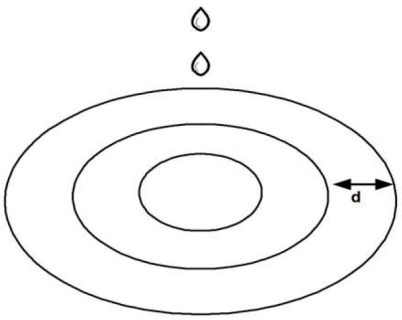
03. (Efomm) Um aparelho de rádio opera na faixa de FM cujo intervalo de frequências é de 88 MHz a 108 MHz. Considere a velocidade das ondas eletromagnéticas no ar igual à velocidade no vácuo: 3,0 x 10^8 m/s. Qual é, então, o menor comprimento de onda da faixa de operação do rádio?

A) 3,4 m.
B) 3,2 m.
C) 3,0 m.
D) 2,8 m.
E) 2,6 m.

04. (Efomm) Considere a velocidade da luz no ar 3 x 10^8 m/s e a velocidade do som no ar 340 m/s. Um observador vê um relâmpago e, 3 segundos depois, ele escuta o trovão correspondente. A distância que o observador está do ponto em que caiu o raio é de aproximadamente

A) 0,3 km.
B) 0,6 km.
C) 1 km.
D) 3 km.
E) 5 km.

05. (Efomm)



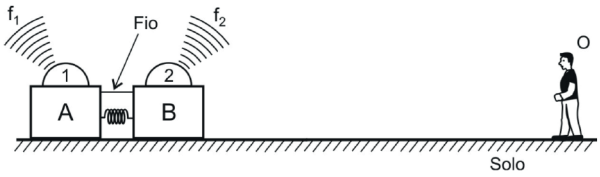
Uma torneira pinga gotas na superfície de um lago de forma periódica, uma gota a cada 2s. Cada gota forma uma perturbação na superfície que demora 4 segundos para percorrer 12m. Qual é a distância entre duas cristas de perturbações consecutivas?

A) 2 m
B) 3 m
C) 4 m
D) 6 m
E) 2 m

06. (Efomm) Um fio de 1,00 m de comprimento possui uma massa de 100 g e está sujeito a uma tração de 160 N. Considere que, em cada extremidade do fio, um pulso estreito foi gerado, sendo o segundo pulso produzido Δt segundos após o primeiro. Se os pulsos se encontram pela primeira vez a 0,300m de uma das extremidades, o intervalo de tempo Δt, em milissegundos, é

A) 1,00
B) 4,00
C) 10,0
D) 100
E) 160

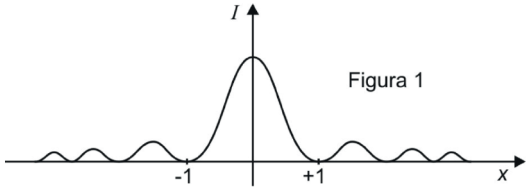
07. (AFA) Duas fontes sonoras 1 e 2, de massas desprezíveis, que emitem sons, respectivamente, de frequências f_1 = 570 Hz e f_2 = 390 Hz são colocadas em um sistema, em repouso, constituído por dois blocos A e B, unidos por um fio ideal e inextensível, de tal forma que uma mola ideal se encontra comprimida entre eles, como mostra a figura a seguir.



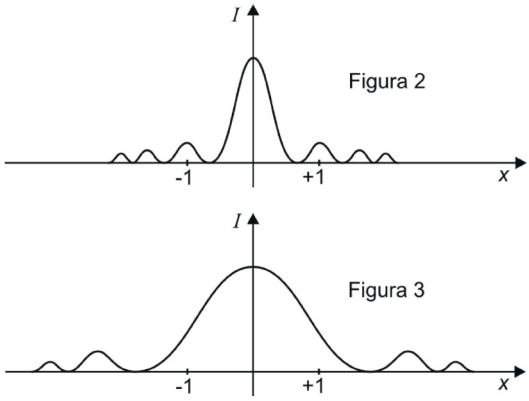
A fonte sonora 1 está acoplada ao bloco A, de massa 2 m, e a fonte sonora 2 ao bloco B, de massa m. Um observador O, estacionário em relação ao solo, dispara um mecanismo que rompe o fio. Os blocos passam, então, a se mover, separados da mola, com velocidades constantes em relação ao solo, sendo que a velocidade do bloco B é de 80 m/s. Considere que não existam forças dissipativas, que a velocidade do som no local é constante e igual a 340 m/s, que o ar se encontra em repouso em relação ao solo. Nessas condições, a razão entre as frequências sonoras percebidas pelo observador, devido ao movimento das fontes 2 e 1, respectivamente, é

A) 1
B) 2
C) 3
D) 4

08. (AFA) Uma figura de difração é obtida em um experimento de difração por fenda simples quando uma luz monocromática de comprimento de onda λ_1 passa por uma fenda de largura d_1. O gráfico da intensidade luminosa I em função da posição x ao longo do anteparo onde essa figura de difração é projetada, está apresentado na figura 1 a seguir.



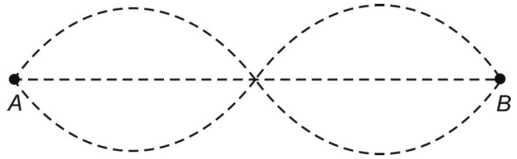
Alterando-se neste experimento apenas o comprimento de onda da luz monocromática para um valor λ_2, obtém-se o gráfico apresentado na figura 2. E alterando-se apenas o valor da largura da fenda para um valor d_2, obtém-se o gráfico da figura 3.



Nessa condições, é correto afirmar que

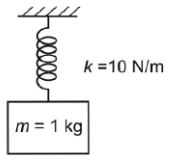
A) $\lambda_2 > \lambda_1$ e $d_2 > d_1$
B) $\lambda_2 > \lambda_1$ e $d_2 < d_1$
C) $\lambda_2 < \lambda_1$ e $d_2 > d_1$
D) $\lambda_2 < \lambda_1$ e $d_2 < d_1$

09. (AFA) Uma onda estacionária é estabelecida em uma corda homogênea de comprimento 2π m, presa pelas extremidades, A e B, conforme figura a seguir.

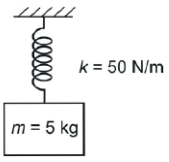


Considere que a corda esteja submetida a uma tensão de 10 N e que sua densidade linear de massa seja igual a 0,1 kg/m. Nessas condições, a opção que apresenta um sistema massa-mola ideal, de constante elástica **k**, em N/m e massa m, em kg, que oscila em movimento harmônico simples" a vertical com a mesma frequência da onda estacionária considerada é

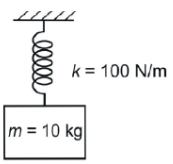
A)



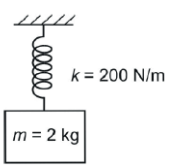
B)



C)



D)



10. (AFA) Ondas sonoras são produzidas por duas cordas A e B próximas, vibrando em seus modos fundamentais, de tal forma que se percebe **x** batimentos sonoros por segundo como resultado da superposição dessas ondas. As cordas possuem iguais comprimentos e densidades lineares sempre constantes, mas são submetidas a diferentes tensões. Aumentando-se lentamente a tensão na corda A, chega-se a uma condição onde a frequência de batimento é nula e ouve-se apenas uma única onda sonora de frequência f. Nessas condições, a razão entre a maior e a menor tensão na corda A é

A) $\frac{f}{f+x}$

B) $\frac{f}{f-x}$

C) $\left(\frac{f}{f-x}\right)^2$

D) $\left(\frac{f}{f-x}\right)^{1/2}$

11. (AFA) A figura 1 a seguir apresenta a configuração de uma onda estacionária que e forma em uma corda inextensível de comprimento L e densidade linear μ quando esta é submetida a oscilações de frequência constante f_0, através de uma fonte presa em uma de suas extremidades. A corda é tencionada por um corpo homogêneo e maciço de densidade ρ, preso na outra extremidade, que se encontra dentro de um recipiente inicialmente vazio.

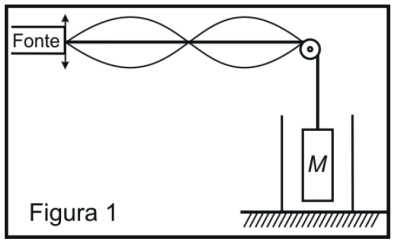


Figura 1

Considere que o recipiente seja lentamente preenchido com um líquido homogêneo de densidade δ e que,no equilíbrio, o corpo M fique completamente submerso nesse líquido. Dessa forma, a nova configuração de onda estacionária que se estabelece na corda é mostrada na figura 2.

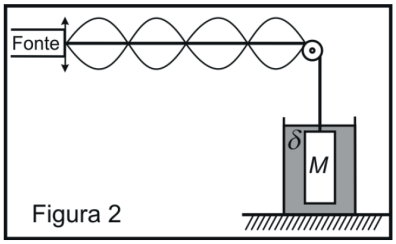


Figura 2

Nessas condições, a razão $\frac{\rho}{\delta}$ entre as densidades do corpo e do líquido, e

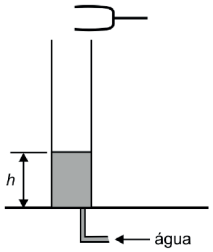
A) $\frac{3}{2}$

B) $\frac{4}{3}$

C) $\frac{5}{4}$

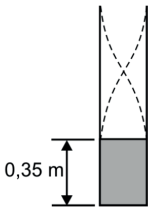
D) $\frac{6}{5}$

12. (AFA) Um diapasão de frequência conhecida igual a 340 Hz é posto a vibrar continuamente próximo à boca de um tubo, de 1 m de comprimento, que possui em sua base um dispositivo que permite a entrada lenta e gradativa de água como mostra o desenho a seguir.

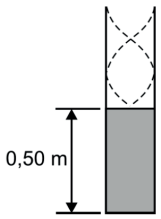


Quando a água no interior do tubo atinge uma determinada altura **h** a partir da base, o som emitido pelo tubo é muito reforçado. Considerando a velocidade do som no local de 340 m/s, a opção que melhor representa as ondas estacionárias que se formam no interior do tubo no momento do reforço é

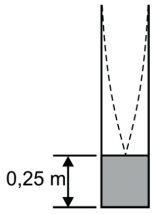
A)



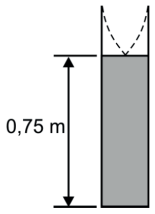
B)



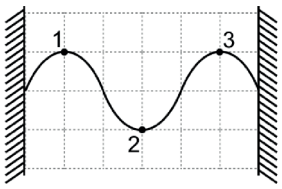
C)



D)

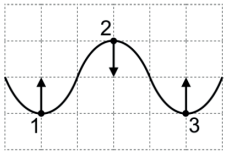


13. (AFA) Um instantâneo de uma corda, onde se estabeleceu uma onda estacionária, é apresentado na figura a seguir.

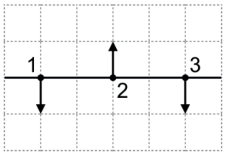


Nesta situação, considerada ideal, a energia associada aos pontos 1, 2 e 3 da corda é apenas potencial.
No instante igual a 3/4 de ciclo após a situação inicial anterior, a configuração que melhor representa a forma da corda e o sentido das velocidades dos pontos 1, 2 e 3 é

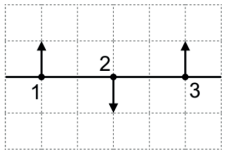
A)



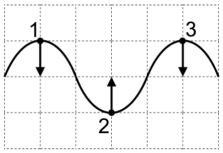
B)



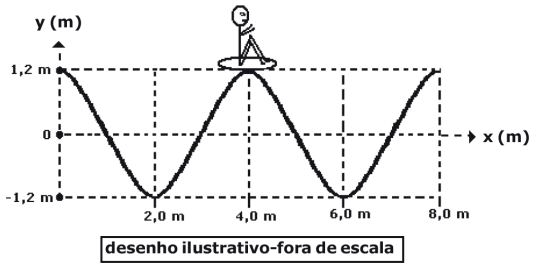
C)



D)

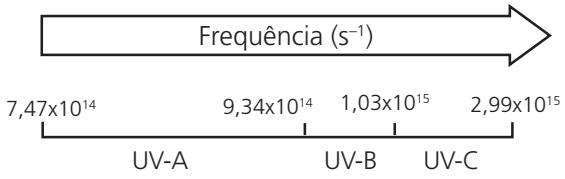


14. (EsPCEx) Uma das atrações mais frequentadas de um parque aquático é a "piscina de ondas". O desenho a seguir representa o perfil de uma onda que se propaga na superfície da água da piscina em um dado instante.
Um rapaz observa, de fora da piscina, o movimento de seu amigo, que se encontra em uma boia sobre a água e nota que, durante a passagem da onda, a boia oscila para cima e para baixo e que, a cada 8 segundos, o amigo está sempre na posição mais elevada da onda.
O motor que impulsiona as águas da piscina gera ondas periódicas.
Com base nessas informações, e desconsiderando as forças dissipativas na piscina de ondas, é possível concluir que a onda se propaga com uma velocidade de

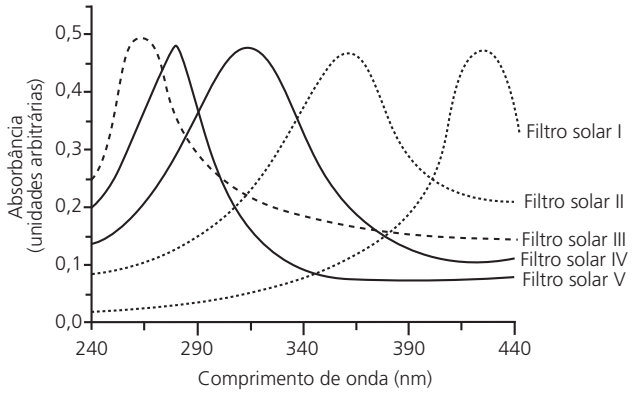


A) 0,15 m/s
B) 0,30 m/s
C) 0,40 m/s
D) 0,50 m/s
E) 0,60 m/s

15. (Enem) A radiação ultravioleta (UV) é dividida, de acordo com três faixas de frequência, em UV-A, UV-B e UV-C, conforme a figura:



Para selecionar um filtro que apresente absorção máxima na faixa UV-B, uma pessoa analisou os espectros de absorção da radiação UV de cinco filtros solares:

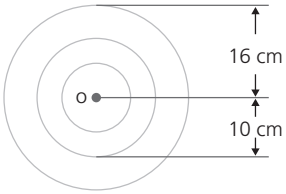


Considere:
Velocidade da luz = $3,0 \times 10^8$ m/s e 1nm = $1,0 \times 10^{-9}$ m.

O filtro solar que a pessoa deve selecionar é o:
A) V
B) IV
C) III
D) II
E) I

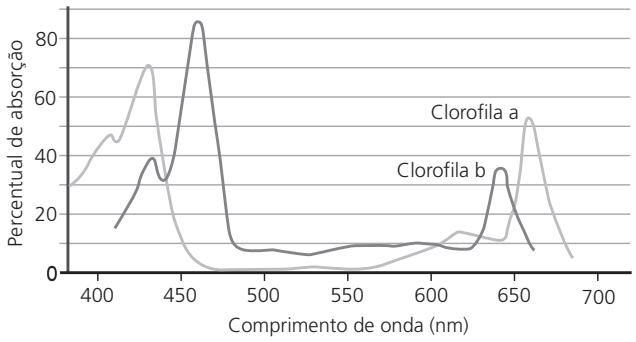
Exercícios Propostos

01 (UFPB) De uma torneira mal fechada, caem 3 gotas por segundo sobre o ponto O da figura ao lado, que representa a superfície da água em um tanque. A figura também indica, num instante dado, as cristas geradas pelas 3 primeiras gotas. Nessas condições, a velocidade de propagação das ondas na superfície da água é de:



A) 12 cm/s
B) 15 cm/s
C) 16 cm/s
D) 18 cm/s
E) 26 cm/s

02. (Fuvest) Chumaços de algodão embebidos em uma solução de vermelho de cresol, de cor rosa, foram colocados em três recipientes de vidro, I, II e III, idênticos e transparentes. Em I e II, havia plantas e, em III, rãs. Os recipientes foram vedados e iluminados durante um mesmo intervalo de tempo com luz de mesma intensidade, sendo que I e III foram iluminados com luz de frequência igual a $7,0 \times 10^{14}$ Hz, e II, com luz de frequência igual a $5,0 \times 10^{14}$ Hz. O gráfico a seguir mostra a taxa de fotossíntese das clorofilas **a** e **b** em função do comprimento de onda da radiação eletromagnética. Considere que, para essas plantas, o ponto de compensação fótica corresponde a 20% do percentual de absorção.

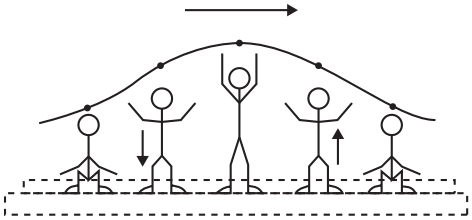


É correto afirmar que, após o período de iluminação, as cores dos chumaços de algodão embebidos em solução de cresol dos recipientes I, II e III ficaram, respectivamente,

Note e adote:
As plantas e as rãs permaneceram vivas durante o experimento.
As cores da solução de cresol em ambientes com dióxido de carbono com concentração menor, igual e maior que a da atmosfera são, respectivamente, roxa, rosa e amarela.
Velocidade da luz = 3×10^8 m/s
1 nm = 10^{-9} m

A) roxa, amarela e amarela.
B) roxa, rosa e amarela.
C) rosa, roxa e amarela.
D) amarela, amarela e roxa.
E) roxa, roxa e rosa.

03. (Enem) Uma manifestação comum das torcidas em estádios de futebol é a ola mexicana. Os espectadores de uma linha, sem sair do lugar e sem se deslocarem lateralmente, ficam de pé e se sentam, sincronizados com os da linha adjacente. O efeito coletivo se propaga pelos espectadores do estádio, formando uma onda progressiva, conforme ilustração.



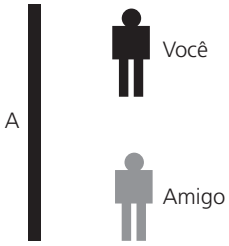
Calcula-se que a velocidade de propagação dessa "onda humana" é de 45 km/h, e que cada período de oscilação contém 16 pessoas, que se levantam e sentam organizadamente e distanciadas entre si por 80 cm.

Disponível em: www.ufsm.br. Acesso em: 7 dez. 2012. Adaptado.

Nessa ola mexicana, a frequência da onda, em hertz, é um valor mais próximo de:

A) 0,3
B) 0,5
C) 1,0
D) 1,9
E) 3,7

04. (IFSP) O eco é um fenômeno que consiste em se escutar um som após a reflexão da onda sonora emitida. Suponha que você e seu amigo encontrem-se separados 60 metros entre si, e ambos a 40 metros de um obstáculo A, perpendicular ao solo, que pode refletir ondas sonoras. Se seu amigo emitir um som, você perceberá que o intervalo de tempo entre o som refletido e o som direto será aproximadamente, em segundos, de:



Dado: Velocidade do som no ar V = 340 m/s

A) 0,12
B) 0,20
C) 0,50
D) 0,80
E) 1,80

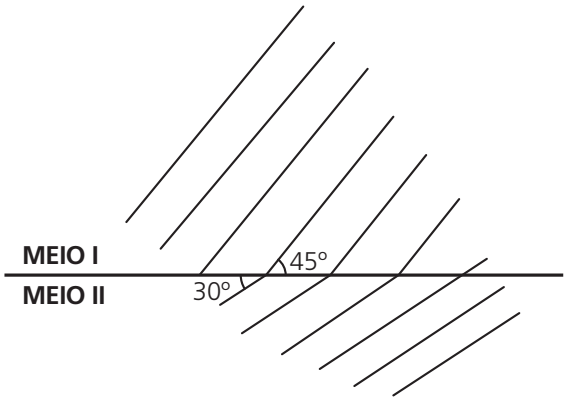
05. (Unirio) Um vibrador produz ondas planas na superfície de um líquido com frequência f_1 =10 Hz e comprimento de onda λ_1 = 28 cm. Ao passarem do meio I para o meio II, como mostra a figura, foi verificada uma mudança na direção de propagação das ondas.

Dados:

sen 30° = cos 60° = 0,5;

$\text{sen } 60^\circ = \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$;

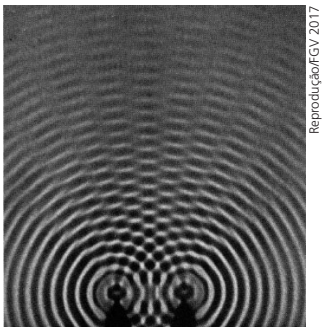
$\text{sen } 45^\circ = \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$ e considere $\sqrt{2} = 1,4$

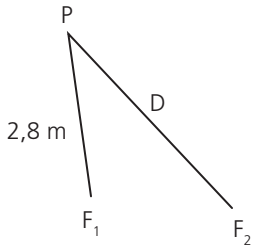


No meio II os valores da frequência e do comprimento de onda serão, respectivamente, iguais a:

A) 10 Hz; 14 cm
B) 10 Hz; 20 cm
C) 10 Hz; 25 cm
D) 15 Hz; 14 cm
E) 15 Hz; 25 cm

06. (FGV) As figuras a seguir representam uma foto e um esquema em que F_1 e F_2 são fontes de frentes de ondas mecânicas planas, coerentes e em fase, oscilando com a frequência de 4,0 Hz. As ondas produzidas propagam-se a uma velocidade de 2,0 m/s. Sabe-se que D > 2,8 m e que P é um ponto vibrante de máxima amplitude.

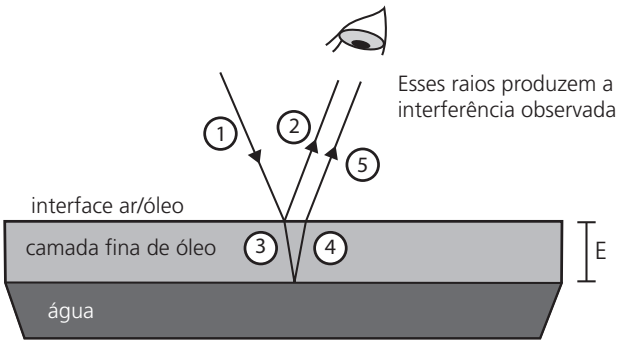




Nessas condições, o menor valor de D deve ser

A) 2,9 m.
B) 3,0 m.
C) 3,1 m.
D) 3,2 m.
E) 3,3 m.

07. (Enem) Certos tipos de superfícies na natureza podem refletir luz de forma a gerar um efeito de arco-íris. Essa característica é conhecida como iridescência e ocorre por causa do fenômeno da interferência de película fina. A figura ilustra o esquema de uma fina camada iridescente de óleo sobre uma poça-d'água. Parte do feixe de luz branca incidente (1) reflete na interface ar/óleo e sofre inversão de fase (2), o que equivale a uma mudança de meio comprimento de onda. A parte refratada do feixe (3) incide na interface óleo/água e sofre reflexão sem inversão de fase (4). O observador indicado enxergará aquela região do filme com coloração equivalente à do comprimento de onda que sofre interferência completamente construtiva entre os raios (2) e (5), mas essa condição só é possível para uma espessura mínima da película. Considere que o caminho percorrido em (3) e (4) corresponde ao dobro da espessura E da película de óleo.



Disponível em: http://2011.igem.org. Acesso em: 18 nov. 2014. Adaptado.

Expressa em termos do comprimento de onda (λ), a espessura mínima é igual a:

A) $\frac{\lambda}{4}$

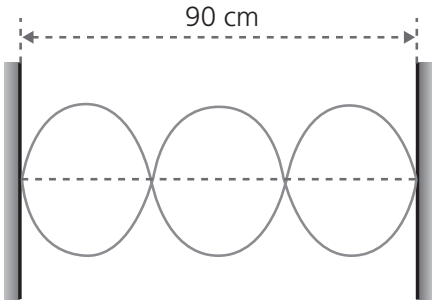
B) $\frac{\lambda}{2}$

C) $\frac{3\lambda}{4}$

D) λ

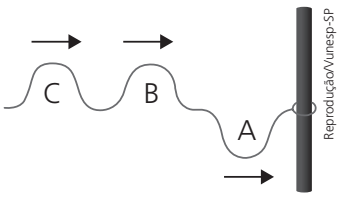
E) 2λ

08. Certa corda, cuja densidade linear é 0,010 kg/m, está tracionada de 900 N. Propaga-se uma onda cuja configuração estacionária encontra-se representada a seguir, com suportes fixos distando 0,90 m. Qual a frequência de vibração de um ponto dessa corda?



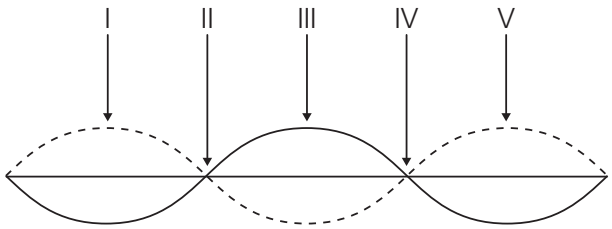
A) 500 Hz
B) 700 Hz
C) 300 Hz
D) 100 Hz
E) 200 Hz

09. (Vunesp-SP) A figura mostra 3 pulsos deslocando-se para a direita, em uma corda com a extremidade móvel na barra vertical.



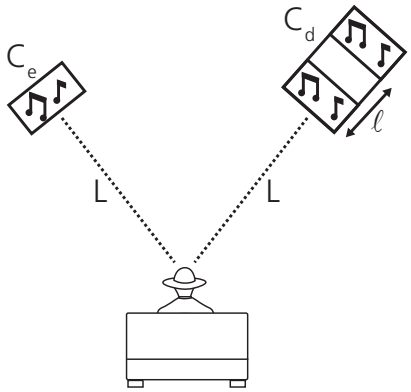
Até a reflexão de todos os pulsos, ocorrerão, sequencialmente:
A) duas interferências construtivas.
B) duas interferências construtivas e uma destrutiva.
C) uma interferência destrutiva, uma construtiva e outra destrutiva.
D) duas interferências destrutivas.
E) duas interferências destrutivas e uma construtiva.

10. (Enem) Um experimento para comprovar a natureza ondulatória da radiação de micro-ondas foi realizado da seguinte forma: anotou-se a frequência de operação de um forno de micro-ondas e, em seguida, retirou-se sua plataforma giratória. No seu lugar, colocou-se uma travessa refratária com uma camada grossa de manteiga. Depois disso, o forno foi ligado por alguns segundos. Ao se retirar a travessa refratária do forno, observou-se que havia três pontos de manteiga derretida alinhados sobre toda a travessa. Parte da onda estacionária gerada no interior do forno é ilustrada na figura.



De acordo com a figura, que posições correspondem a dois pontos consecutivos da manteiga derretida?
A) I e III
B) I e V
C) II e III
D) II e IV
E) II e V

11. (Fuvest) O Sr. Rubinato, um músico aposentado, gosta de ouvir seus velhos discos sentado em uma poltrona. Está ouvindo um conhecido solo de violino quando sua esposa Matilde afasta a caixa acústica da direita (C_d) de uma distância ℓ, como visto na figura abaixo.



Em seguida, Sr. Rubinato reclama: — Não consigo mais ouvir o Lá do violino, que antes soava bastante forte! Dentre as alternativas a seguir para a distância ℓ, a única compatível com a reclamação do Sr. Rubinato é:

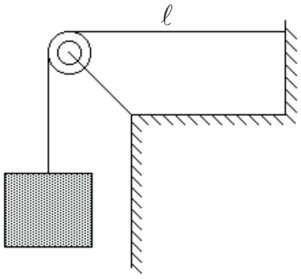
Note e adote:
O mesmo sinal elétrico do amplificador é ligado aos dois alto-falantes, cujos cones se movimentam em fase.
A frequência da nota Lá é 440 Hz.
A velocidade do som no ar é 330 m/s.
A distância entre as orelhas do Sr. Rubinato deve ser ignorada.
A) 38 cm
B) 44 cm
C) 60 cm
D) 75 cm
E) 150 cm

12. (UFRN) As fotografias 1 e 2, mostradas a seguir, foram tiradas da mesma cena. A fotografia 1 permite ver, além dos objetos dentro da vitrine, outros objetos que estão fora dela (como, por exemplo, os automóveis), que são vistos devido à luz proveniente destes refletida pelo vidro comum da vitrine. Na fotografia 2, a luz refletida foi eliminada por um filtro polarizador colocado na frente da lente da câmera fotográfica.

Reprodução/UFRN

Comparando-se as duas fotos, pode-se afirmar que:
A) a luz proveniente dos objetos dentro da vitrine não está polarizada e a luz refletida pelo vidro não está polarizada.
B) a luz proveniente dos objetos dentro da vitrine está polarizada e a luz refletida pelo vidro não está polarizada.
C) a luz proveniente dos objetos dentro da vitrine não está polarizada e a luz refletida pelo vidro está polarizada.
D) a luz proveniente dos objetos dentro da vitrine está polarizada e a luz refletida pelo vidro está polarizada.

13. São de 100 Hz e 125 Hz, respectivamente, as frequências de duas harmônicas adjacentes de uma onda estacionária no trecho horizontal de um cabo esticado, de comprimento L = 2 m e densidade linear de massa igual a 10 g/m.

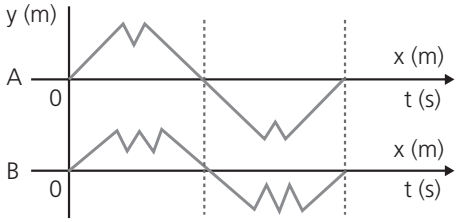


Considerando a aceleração da gravidade g = 10 m/s2, a massa do bloco suspenso deve ser de
A) 10 kg
B) 16 kg
C) 60 kg
D) 10^2 kg
E) 45 kg

14. O eco é o fenômeno que ocorre quando um som emitido e seu reflexo em um anteparo são percebidos por uma pessoa com intervalo de tempo que permite ao cérebro distingui-los como sons diferentes. Para que se receba o eco de um som no ar, no qual a velocidade de propagação é de 340 m/s, é necessário que haja uma distância de 17,0 m entre a fonte e o anteparo. Na água, em que a velocidade de propagação do som é de 1600 m/s, essa distância precisa ser de
A) 34,0 m
B) 60,0 m
C) 80,0 m
D) 160,0 m
E) 320,0 m

15. (UFC) Duas fontes puntiformes, separadas por uma distância ℓ, emitem ondas esféricas em um meio homogêneo isotrópico, com potências P_1 e P_2. Suponha que o meio não absorva energia. Em um ponto Q, situado entre as duas fontes sobre a linha que as une, as intensidades das duas ondas são iguais. Assinale a alternativa que contém a distância do ponto Q à fonte de potência P_1, em função de ℓ, se $P_1 = 4P_2$.
A) 4ℓ
B) $\ell/5$
C) $2\ell/3$
D) $\ell/3$
E) $3\ell/5$

16. (PUC-Minas) As vozes de dois cantores, emitidas nas mesmas condições ambientais, foram representadas em um osciloscópio e apresentaram os aspectos geométricos indicados a seguir.



A respeito dessas ondas, foram feitas várias afirmativas:
I. As vozes possuem timbres diferentes;
II. As ondas possuem o mesmo comprimento de onda;
III. Os sons emitidos possuem alturas iguais;
IV. As ondas emitidas possuem a mesma frequência;
V. Os sons emitidos possuem a mesma intensidade;
VI. As ondas emitidas possuem amplitudes diferentes;
VII. O som indicado em A é mais agudo do que o indicado em B;
VIII. Os períodos das ondas emitidas são iguais.

O número de afirmativas corretas é igual a:
A) 3
B) 4
C) 5
D) 6
E) 7

17. O grupo brasileiro de percussão *Uakti* constrói seus próprios instrumentos musicais. Um deles consiste em vários canos de PVC de comprimentos variados. Um dos canos possui uma das pontas fechada por uma membrana que emite sons característicos ao ser percutida pelos artistas, enquanto a outra é mantida aberta outro cano possui as duas pontas abertas. Sabendo-se que o módulo da velocidade do som no ar vale 340 m/s, qual a segunda frequência mais baixa emitida por cada um desses tubos, de comprimento igual a 50 cm, respectivamente?
A) 170 Hz e 340 Hz
B) 510 Hz e 680 Hz
C) 200 Hz e 510 Hz
D) 340 Hz e 510 Hz
E) 200 Hz e 340 Hz

18. Um diapasão de frequência 400Hz é afastado de um observador, em direção a uma parede plana, com velocidade de 1,7m/s. São denominadas: f_1, a frequência aparente das ondas não-refletidas, vindas diretamente até o observador; f_2, frequência aparente das ondas sonoras que alcançam o observador depois de refletidas pela parede e f_3, a frequência dos batimentos. Sabendo que a velocidade do som é de 340m/s, os valores que melhor expressam as frequências em hertz de f_1, f_2 e f_3, respectivamente são,
A) 392, 408 e 16
B) 396, 402 e 8
C) 398, 402 e 4
D) 402, 398 e 4
E) 404, 396 e 4

19. O "nível de intensidade sonora" N é medido em uma escala logarítmica, e está relacionada com a intensidade física I da onda pela expressão:
$N = 10 \log I/I_0$ em que I_0 é a intensidade do mais fraco som audível.
Se $I = 10\ I_0$, tem-se $N = 10 \log 10$
N = 10 db (dB = decibel)

Um cachorro ao ladrar emite um som cujo nível de intensidade é 65 dB. Se forem dois cachorros latindo ao mesmo tempo, em uníssono, o nível de intensidade será: (use log 2 = 0,30)
A) 65 dB
B) 68 dB
C) 85 dB
D) 130 dB

20. Sonoridade ou intensidade auditiva é a qualidade do som que permite ao ouvinte distinguir um som fraco (pequena intensidade) de um som forte (grande intensidade). Em um jogo de futebol, um torcedor grita "gol" com uma sonoridade de 40 dB. Assinale a alternativa que fornece a sonoridade (em dB), se 10000 torcedores gritam "gol" ao mesmo tempo e com a mesma intensidade.
A) 400000
B) 20000
C) 8000
D) 400
E) 80

21. (UFU-MG) Uma corda de um violão emite uma frequência fundamental de 440,0 Hz ao vibrar livremente, quando tocada na região da boca, como mostra a Figura 1.
Pressiona-se então a corda, a L/3 de distância da pestana, como mostra a Figura 2.

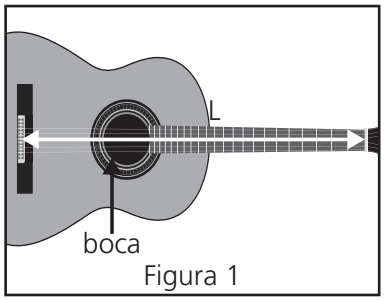


Figura 1

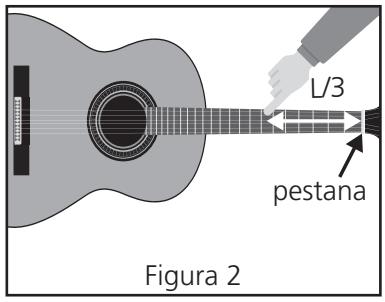
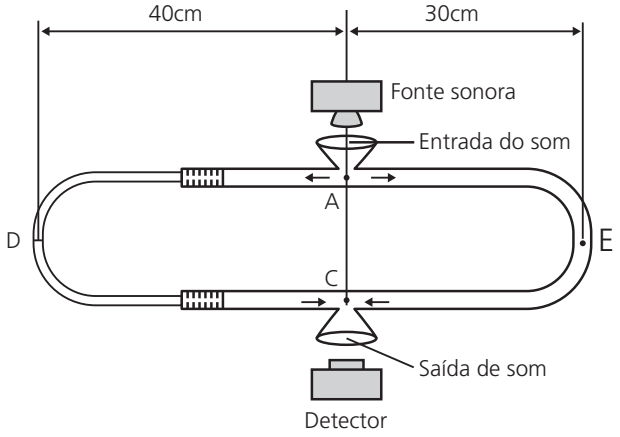


Figura 2

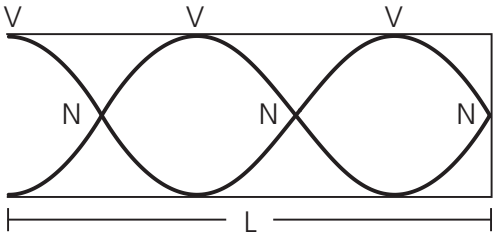
A frequência fundamental emitida pela corda pressionada, quando tocada na região da boca, será de:
A) 660,0 Hz
B) 146,6 Hz
C) 880,0 Hz
D) 293,3 Hz

22. O trombone de Quincke é um dispositivo experimental utilizado para demostrar o fenômeno da interferência de ondas sonoras. Uma fonte emite ondas sonoras de determinada frequência na entrada do dispositivo. Essas ondas se dividem pelos dois caminhos (ADC e AEC) e se encontram no ponto C, a saída do dispositivo, onde posiciona um detector. O trajeto ADC pode ser aumentado pelo deslocamento dessa parte do dispositivo. Com o trajeto ADC igual ao AEC, capta-se um som muito intenso na saída. Entretanto, aumentando-se gradativamente o trajeto ADC, até que ele fique como mostrado na figura, a intensidade do som na saída fica praticamente nula. Desta forma, conhecida a velocidade do som no interior do tubo (320 m/s), é possivel determinar o valor da frequência do som produzido pela fonte.



O valor da frequência, em hertz, do som produzido pela fonte sonora é
A) 3200
B) 1600
C) 800
D) 640
E) 400

23. (Unesp) Na geração da voz humana, a garganta e a cavidade oral agem como um tubo, com uma extremidade aproximadamente fechada na base da laringe, onde estão as cordas vocais, e uma extremidade aberta na boca. Nessas condições, sons são emitidos com maior intensidade nas frequências e comprimentos de ondas para as quais há um nó (N) na extremidade fechada e um ventre (V) na extremidade aberta, como ilustra a figura. As frequências geradas são chamadas harmônicos ou modos normais de vibração. Em um adulto, este tubo do trato vocal tem aproximadamente 17 cm. A voz normal de um adulto ocorre em frequências situadas aproximadamente entre o primeiro e o terceiro harmônicos.



Considerando que a velocidade do som no ar é 340 m/s, os valores aproximados, em hertz, das frequências dos três primeiros harmônicos da voz normal de um adulto são:
A) 50, 150, 250
B) 100, 300, 500
C) 170, 510, 850
D) 340, 1020, 1700
E) 500, 1500, 2500

24. Um dos problemas urbanos mais frequentes atualmente é o alto índice de poluição sonora. A contínua exposição a ruídos pode degenerar o órgão de Corti da cóclea, onde ocorre a conversão do som em sinais elétricos que serão transmitidos ao cérebro, e podem causar também neurose, insônia, estresse mental e consequente queda de produtividade física e mental. O limiar de lesão, em um adulto jovem, é atingido com uma intensidade de 80 dB, enquanto que, em uma conversação normal, temos uma intensidade de 60 dB e, em uma festa barulhenta, pode-se aumentá-la para 90 dB. Em função da natureza das ondas sonoras e desprezando as variações de temperatura e pressão, qual alternativa apresenta condições mais eficientes para o isolamento sonoro externo de um ambiente?
A) Construir paredes, alternando materiais de alta e baixa densidade.
B) Construir paredes com materiais de alta densidade.
C) Substituir paredes de alvenaria por uma lâmina de vidro temperado.
D) Colar caixas de ovos vazias na parede interna do ambiente.

25. Um planeta muito distante, no qual a velocidade do som na sua atmosfera é de 600 m/s, é utilizado como base para reabastecimento de naves espaciais. A base possui um aparelho que detecta a freqüência sonora emitida pelas naves. A nave é considerada "amiga" se a freqüência detectada pela base estiver entre 8000 e 12000 Hz. Uma determinada nave ao adentrar na atmosfera deste planeta emite uma onda sonora com freqüência de 5000 Hz.

Para que a nave seja considerada "amiga" sua velocidade mínima ao se aproximar da base deve ser de
A) 225 m/s.
B) 350 m/s
C) 250 m/s
D) 360 m/s
E) 400 m/s

26. (UFPR) Um órgão é um instrumento musical composto por diversos tubos sonoros, abertos ou fechados nas extremidades, com diferentes comprimentos. Em um certo órgão, um tubo A é aberto em ambas as extremidades e possui uma frequência fundamental de 200 Hz. Nesse mesmo órgão, um tubo B tem uma das extremidades aberta e a outra fechada, e a sua frequência fundamental é igual à frequência do segundo harmônico do tubo A. Considere a velocidade do som no ar igual a 340 m/s. Os comprimentos dos tubos A e B são, respectivamente,
A) 42,5 cm e 31,9 cm.
B) 42,5 cm e 63,8 cm.
C) 85,0 cm e 21,3 cm.
D) 85,0 cm e 42,5 cm.
E) 85,0 cm e 127,0 cm.

27. (Unesp-Adaptado) Um experimento foi feito com a finalidade de determinar a frequência de vibração de um diapasão. Um tubo cilíndrico aberto em suas duas extremidades foi parcialmente imerso em um recipiente com água e o diapasão vibrando foi colocado próximo ao topo desse tubo, conforme a figura 1. O comprimento L da coluna de ar dentro do tubo foi ajustado movendo-o verticalmente. Verificou-se que o menor valor de L, para o qual as ondas sonoras geradas pelo diapasão são reforçadas por ressonância dentro do tubo, foi de 10 cm, conforme a figura 2.

Figura 1

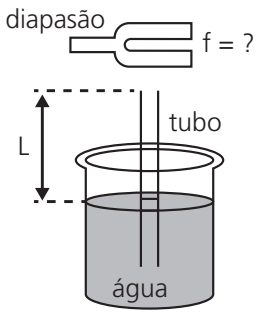
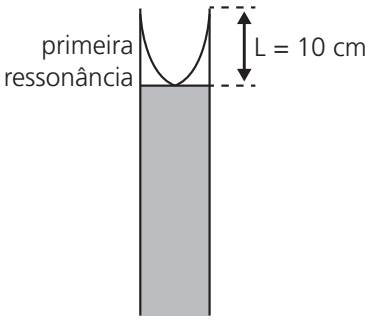


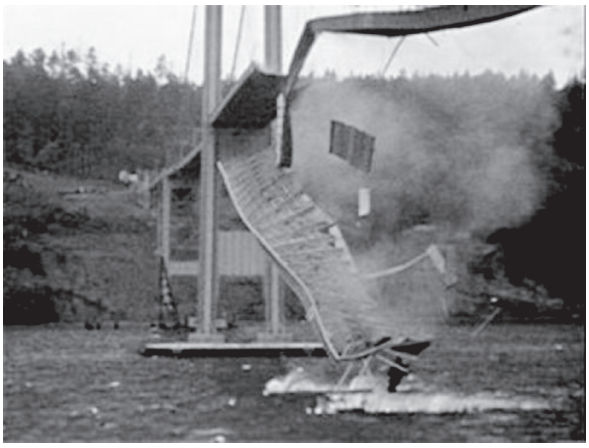
Figura 2



Considere a velocidade de propagação do som no ar igual a 340 m/s. Respectivamente, frequência de vibração do diapasão e o comprimento da coluna de ar para a segunda ressonância são:
A) 425 Hz, 20 cm
B) 850 Hz, 30 cm
C) 850 Hz, 20cm
D) 3400 Hz, 30 cm
E) 1700 Hz, 50 cm

28. (UEPB) Todo corpo capaz de vibrar ou oscilar tem frequência natural de oscilação, quer seja ele uma lâmina de aço, um copo de vidro, um automóvel, quer seja uma ponte. Se uma fonte oscilante tiver a mesma frequência que a frequência natural de um corpo, este pode atingir o colapso. Foi o que aconteceu com a ponte de Tacoma em 1940 nos Estados Unidos, levando-a quebrar-se, conforme ilustrado a seguir.

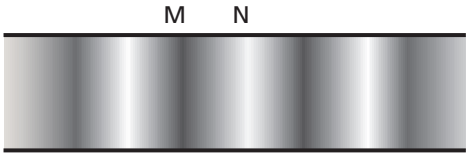
GASPAR, A. *Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental*. São Paulo: Ática, 2005.



Reprodução/UEPB-2010

Sobre este fenômeno, é correto afirmar:
A) Não há relação alguma entre as frequências da fonte oscilante e a frequência natural do corpo, que possa ocasionar o colapso.
B) É devido à superposição de ondas que a frequência da fonte oscilante pode atingir a frequência natural do corpo, e este entrar em colapso.
C) É devido à interferência das ondas que a frequência da fonte oscilante pode atingir a frequência natural do corpo, e este entrar em colapso.
D) Quando a fonte oscilante tem frequência igual à frequência natural do corpo, este entra em ressonância.
E) O colapso acontece devido ao Efeito Doppler.

29. (UFMG) Uma onda sonora de uma determinada frequência está se propagando dentro de um tubo com gás. A figura representa, em um dado instante, a densidade de moléculas do gás dentro do tubo: região mais escura corresponde à maior densidade. Se a fonte sonora que emitiu esse som aumentar sua intensidade,



A) a densidade do gás, na região M, aumenta e a densidade em N diminui.
B) a densidade do gás, na região M, diminui e a densidade em N aumenta.
C) a distância entre as regiões M e N aumenta.
D) a distância entre as regiões M e N diminui.

30. (PUC-SP) Uma jovem de 60 kg realiza seu primeiro salto de paraquedas a partir de um helicóptero que permanece estacionário. Desde o instante do salto até o momento em que ela aciona a abertura do paraquedas, passam-se 12s e, durante todo esse tempo em que a jovem cai em queda livre, ela emite um grito de desespero cuja frequência é de 230 Hz.
Considerando a velocidade do som igual a 340 m/s e o módulo da aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2, determine a frequência aparente aproximada desse grito, emitido no instante 12s, quando percebida pelo instrutor de salto situado no helicóptero.

germanskydiver/123RF/Easypix

Despreze a resistência do ar até a abertura do paraquedas.
A) 140 B) 160
C) 170 D) 230

Gabarito

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

Aulas 13 a 17: Ondulatória				
1	2	3	4	5
C	D	D	C	D
6	7	8	9	10
C	A	D	D	C
11	12	13	14	15
B	D	C	D	B

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

Aulas 13 a 17: Ondulatória									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	A	C	A	B	E	A	A	E	A
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	C	A	C	C	D	B	C	B	E
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	C	E	A	C	C	B	D	A	C

Digitador: Aníbal – Revisor: Alexandre
046.398-1001/22